



ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής

Διπλωματική Εργασία

**«Επεξεργασία Δεδομένων Γεωραντάρ για την απεικόνιση
θαμμένων ανθρωπογενών δομών στο Καστέλι Κισσάμου»**



ΑΓΓΕΛΟΣ ΠΛΑΓΕΡΑΣ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

ΒΑΦΕΙΔΗΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ

Καθηγητής (Επιβλέπων)

ΜΑΝΟΥΤΣΟΓΛΟΥ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ

Καθηγητής

ΣΠΑΝΟΥΔΑΚΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΕΔΙΠ

Χανιά 2020

Περιεχόμενα

Contents

Περίληψη.....	3
Πρόλογος.....	4
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	6
Εισαγωγή	6
Περιγραφή του χώρου	6
Δομή της Εργασίας	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΟΥ ΓΕΩΡΑΝΤΑΡ ΚΑΙ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ	9
Η μέθοδος του γεωραντάρ.....	9
Βιβλιογραφική έρευνα	12
Διπλωματικές Εργασίες	12
Διεθνής Βιβλιογραφία.....	18
Ελεγχόμενα πειράματα	23
Ελεγχόμενο πείραμα Sandbox	24
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ: ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	26
Συλλογή Δεδομένων.....	26
Επεξεργασία Δεδομένων Γεωραντάρ	27
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ : ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΓΕΩΡΑΝΤΑΡ.....	39
Εισαγωγή	39
Ερμηνεία δεδομένων	39
Α) Περιοχή 1 με κεραία συχνότητας 400 MHz.....	39
Β)Περιοχή 1 με κεραία συχνότητας 900 MHz.....	44
Γ) Περιοχή 2 με κεραία συχνότητας 900 MHz.....	48
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	54
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	56
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ : ΤΟΜΕΣ ΓΕΩΡΑΝΤΑΡ.....	59

Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζονται και ερμηνεύονται τα αποτελέσματα γεωφυσικής διασκόπησης με τη μέθοδο του γεωραντάρ, που πραγματοποιήθηκε σε ομοίωμα αρχαίας μινωικής οικίας στο αρχαιολογικό εργαστήριο Archaeolab στο Καστέλι Κισσάμου.

Στόχος αυτής της μελέτης είναι η αξιολόγηση του γεωραντάρ σαν μία μέθοδο κατάλληλη για αρχαιολογικές διασκοπήσεις, και ο βαθμός της αποτελεσματικότητάς της, δεδομένης της προϋπάρχουσας γνώσης όλων των θαμμένων στόχων.

Ο χώρος που καταλαμβάνει η Μινωϊκή οικία χωρίστηκε σε 2 κανάβους και διασκοπήθηκε με 2 κεραίες γεωραντάρ συχνότητας 400 MHz και 900 MHz. Η απόσταση μεταξύ των γραμμών ορίστηκε σε 0.2 m, το βήμα δειγματοληψίας σε 0.02 m και το διάστημα δειγματοληψίας στα 0.1466 ns.

Τα δεδομένα του γεωραντάρ επεξεργάστηκαν με διάφορα φίλτρα για την απαλοιφή του θορύβου, χωροθετήθηκαν και υπολογίστηκαν ορισμένα μιγαδικά χαρακτηριστικά τους. Στη συνέχεια δημιουργήθηκαν οριζόντιες τομές χρησιμοποιώντας κυλιόμενο παράθυρο για τον υπολογισμό της μέγιστης τιμής εντός αυτού.

Οι τομές του γεωραντάρ ερμηνεύτηκαν σε συνδυασμό με τις οριζόντιες τομές και προέκυψε ότι η αποτελεσματικότητα της μεθόδου του γεωραντάρ σε συνδυασμό με το γεγονός ότι η μέθοδος του γεωραντάρ είναι μία από τις μη καταστροφικές μεθόδους εντοπισμού, την καθιστούν την πλέον κατάλληλη μέθοδο εντοπισμού σε χώρους αρχαιολογικού ενδιαφέροντος.

Τέλος, αποδείχθηκε ότι ο ορισμός της απόστασης μεταξύ των γραμμών και του βήματος δειγματοληψίας σε 0.2m και 0.02 m αντίστοιχα είχε θετικά αποτελέσματα στον εντοπισμό και στην απεικόνιση των στόχων και προτείνεται η απόσταση μεταξύ των γραμμών να μειωθεί περαιτέρω (0.1 m) σε μελλοντικές διασκοπήσεις.

Πρόλογος

Στο σημείο αυτό, μετά το πέρας της διπλωματικής μου εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Αντώνη Βαφείδη για την εμπιστοσύνη, την υποστήριξη και την ευγένεια που μου έδειξε καθ' όλη τη διάρκεια της διπλωματικής μου εργασίας. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ. Μανούτσογλου Εμμανουήλ για την συμμετοχή του στην εξεταστική επιτροπή.

Ευχαριστώ ολόψυχα τον κ. Σπανουδάκη Νικόλαο, ΕΔΙΠ, για όλη του τη βοήθεια, την καθοδήγηση, τις συμβουλές και τη στήριξη καθ' όλη τη διάρκεια αυτού του εγχειρήματος, χωρίς τον οποίο αυτή η εργασία δεν θα μπορούσε να ολοκληρωθεί.

Ευχαριστώ την κ. Μπορμπουδάκη Κούλα για την παραχώρηση του χώρου του Archaeolab Χανίων για τις ανάγκες της γεωφυσικής διασκόπησης που αναλύεται στην παρούσα διπλωματική.

Ευχαριστώ τον Αλέξανδρο Τσιώλη, για την πολύτιμη βοήθεια που προσέφερε σχετικά με τη χρήση του λογισμικού Autocad.

Ευχαριστώ τις Ευτέρπη Κουτρομπά και Σταματέλου Ευθαλία για τη βοήθεια τους να κατανοήσω τις λειτουργίες του λογισμικού Photoshop.

Ευχαριστώ τους φίλους μου Πασχάλη Ιωαννίδη, Παναγιώτη Ταραντίλη και Ισίδωρο Βαρδαρό για τις συμβουλές και τη στήριξή τους.

Τέλος, ευχαριστώ την Ελένη, τον Αντρέα, τον Μίμη και την Αργυρώ.

Για όλα.

Αυτή η διπλωματική είναι αφιερωμένη στη μνήμη της γιαγιάς μου

Υπερασπίσου το παιδί, γιατί αν γλυτώσει το παιδί, υπάρχει ελπίδα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Εισαγωγή

Περιγραφή του χώρου

Το Archaeolab Χανίων πρόκειται για μια προσομοίωση ανασκαφής μιας αρχαίας Μινωικής οικίας με επιμέρους οικιστικούς, αποθηκευτικούς και εργαστηριακούς χώρους. Απευθύνεται σε παιδιά τα οποία καλούνται να ανασκάψουν «αρχαιολογικά ευρήματα» και να ανακαλύψουν την αρχαιολογία , όπως και πληροφορίες σχετικά με τα χαρακτηριστικά της μινωικής κοινωνίας και το μινωικό τρόπο ζωής.(Εικόνα1.1)



Εικόνα 1.1 :Archaeolab

Το εργαστήρι, βρίσκεται στην παραλία του Καστελίου Κισσάμου σε ένα χώρο 550 m². Ο χώρος της προσομοιωμένης ανασκαφής όπου και έγινε η γεωφυσική διασκόπηση έχει εμβαδόν περίπου 37 m² και μέσα σε αυτόν παρατηρούνται κατάλοιπα τοιχοποιίας και σε κάποια σημεία δάπεδο, αποθηκευτικοί πίθοι, κουζίνα και φούρνο, ιερό, καθώς επίσης και κρύπτες θησαυρού. Οι τοίχοι είναι κατασκευασμένοι από τσιμεντόλιθους με επίχρισμα εξωτερικά, ώστε να μοιάζουν πέτρινοι.



Εικόνα 1.2α:ο χώρος προσομοίωσης της Μινωικής ανασκαφής. Διακρίνονται, πλίνθοι, πιθάρια, φούρνος, σεντούκι, λιθόρυπτο δάπεδο και άλλα



Εικόνα 1.2β: Περιοχή Διασκόπησης



Εικόνα 1.2γ : Περιοχή Διασκόπησης Α

Δομή της Εργασίας

Η διπλωματική χωρίζεται σε 5 ενότητες. Στην πρώτη αναφέρονται κάποια εισαγωγικά στοιχεία σχετικά με την περιοχή μελέτης. Στη δεύτερη αναλύεται η μέθοδος του γεωραντάρ και παρατίθεται εκτενής βιβλιογραφική μελέτη πάνω στον αντικείμενο του γεωραντάρ και της αρχαιομετρίας. Στην τρίτη εξηγούνται εκτενώς όλες οι παράμετροι και τα βήματα που έγιναν για την λήψη και την επεξεργασία των μετρήσεων, ενώ στην τέταρτη αυτές οι μετρήσεις ερμηνεύονται. Τέλος στην πέμπτη ενότητα εξάγονται κάποια συμπεράσματα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΟΥ ΓΕΩΡΑΝΤΑΡ ΚΑΙ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Η μέθοδος του γεωραντάρ

Η τεχνολογία του γεωραντάρ (Ground Penetrating Radar) εισήχθη για πρώτη φορά το 1940 αλλά έπρεπε να περάσουν τριάντα χρόνια για να αρχίσουν οι πρώτες γεωφυσικές διασκοπήσεις, ενώ η μεγάλη ανάπτυξη της μεθόδου σημειώθηκε την δεκαετία του 1980 με την εισαγωγή ψηφιακών συστημάτων η οποία άνοιξε το δρόμο στην επεξεργασία σήματος και την ανάπτυξη καινούργιων εφαρμογών (Βαφείδης 2001)

Το γεωραντάρ αποτελεί ίσως την πιο διαδεδομένη μη καταστροφική μέθοδο (δεν επηρεάζει με κανέναν τρόπο το περιβάλλον με το οποίο έρχεται σε επαφή) με τεράστιο φάσμα εφαρμογών όπως ο καθορισμός του πάχους των γεωλογικών στρωμάτων και του βάθους του υδροφόρου ορίζοντα, ο προσδιορισμός υπόγειων εγκαύλων και στοών, ο εντοπισμός θαμμένων καλωδίων και σωλήνων, ο έλεγχος του οδοστρώματος στην οδοποιία κ.ο.κ. Τέλος, τα τελευταία χρόνια το GPR έχει αποδειχθεί ένα πολύ αξιόπιστο εργαλείο για την αρχαιολογία, καθώς μπορεί να εντοπίσει με ακρίβεια (αλλά σε μικρό βάθος) θαμμένες αρχαιότητες.

Αρχή λειτουργίας : Η μέθοδος του γεωραντάρ εφαρμόζεται στην έρευνα δομών μικρού βάθους και χρησιμοποιεί ραδιοκύματα εύρους συχνότητας από 10 έως 1200 MHz. Η λειτουργία του στηρίζεται στην ανάκλαση των ραδιοκυμάτων.

Η κεραία του πομπού εκπέμπει έναν ηλεκτρομαγνητικό παλμό . Ο παλμός θα ταξιδέψει στο υπέδαφος μέχρι να συναντήσει επιφάνεια με διαφορετικές ηλεκτρικές ιδιότητες. Τότε ένα μέρος της ενέργειας του παλμού θα διαδοθεί στο δεύτερο στρώμα και ένα μέρος θα ανακλαστεί στην επιφάνεια και θα επιστρέψει στην κεραία του δέκτη, σύμφωνα με τις αρχές διάδοσης των κυμάτων. Το σήμα που λαμβάνει η κεραία του δέκτη προωθείται στην μονάδα ελέγχου όπου καταγράφεται ο χρόνος διαδρομής και το πλάτος του κύματος (Βαφείδης 2001).

Η μονάδα ελέγχου του γεωραντάρ μετράει το χρόνο t_r που χρειάζεται ο παλμός για να ταξιδέψει από την κεραία του πομπού στην κεραία του δέκτη. Ο χρόνος διαδρομής του παλμού ισούται με :

$$t_r = \frac{(4D_r^2 + X^2)^{1/2}}{v} \Leftrightarrow t_r^2 = \frac{4D_r^2}{v^2} + \frac{X^2}{v^2}$$

που δίνει :

$$D_r = \frac{[(t_r v)^2 - X^2]^{1/2}}{2}$$

Όπου X είναι η απόσταση πομπού- δέκτη, D_r το βάθος της επιφάνειας ανάκλασης και v η ταχύτητα του ηλεκτρομαγνητικού κύματος στο μέσο διάδοσης. Το βάθος του ανακλαστήρα μπορεί εύκολα να προσδιοριστεί εφόσον είναι γνωστός ο χρόνος διαδρομής t_r και η ταχύτητα του ηλεκτρομαγνητικού κύματος v στο μέσο διάδοσης (Βαφείδης 2001)

Η απόδοση του γεωραντάρ συνδέεται στενά με την συχνότητα της κεραίας, η οποία καθορίζει το μέγιστο βάθος διασκόπησης. Όσο μεγαλύτερη είναι η συχνότητα της κεραίας, τόσο μεγαλύτερη η εξασθένιση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων ανάλογα με το βάθος. Η εξασθένιση εξαρτάται από τις ιδιότητες των γεωλογικών σχηματισμών, από τη γεωμετρία διάδοσης και από τη συχνότητα εκπομπής. Η πιο σημαντική ιδιότητα των γεωλογικών σχηματισμών που επηρεάζει ιδιαίτερα την εξασθένιση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων είναι η ηλεκτρική αγωγιμότητα. Όσο πιο αγωγίμο είναι το μέσο διάδοσης, τόσο πιο μεγάλη είναι η εξασθένιση. Η ενέργεια που χάνεται εξαιτίας της αγωγιμότητας οφείλεται σε τρεις μηχανισμούς: α) τα ηλεκτρόνια για να κινηθούν απορροφούν ενέργεια, β) κατά την κίνηση τους μέσα στην μάζα του αγωγού συγκρούονται με άλλα σωματίδια και μέρος της ενέργειας τους μετατρέπεται σε θερμική, γ) η μετακίνηση των ηλεκτρικών φορτίων δημιουργεί δευτερογενές ηλεκτρομαγνητικό πεδίο που αποσβένει μέρος της ενέργειας της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. (Βαφείδης 2001).

Οι παράμετροι που επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα της μεθόδου είναι:

1. Συχνότητα της κεραίας : Η επιλογή της κεραίας που θα χρησιμοποιηθεί παίζει ίσως το σημαντικότερο ρόλο για το σχεδιασμό της διασκόπησης, καθώς το βάθος διασκόπησης είναι αντιστρόφως ανάλογο της συχνότητας, ενώ η διακριτική ικανότητα του συστήματος είναι ανάλογη της συχνότητας. Έτσι, χρησιμοποιείται κεραία μικρής συχνότητας για τον εντοπισμό στόχων σε σχετικά μεγάλο βάθος, και

κεραία μεγάλης συχνότητας για την επίτευξη καλύτερης ευκρίνειας σε σχετικά μικρό βάθος.

2. Βήμα δειγματοληψίας : Το βήμα δειγματοληψίας παίζει ρόλο στο τελικό αποτέλεσμα της διασκόπησης, καθώς όσο μικρότερο είναι το βήμα τόσο πυκνότερες οι μετρήσεις , άρα τόσο μεγαλύτερη η αξιοπιστία της διασκόπησης. Το βήμα δειγματοληψίας μπορεί να θεωρηθεί ανάλογο του στόχου διασκόπησης, δηλαδή όσο μικρότερος είναι ο στόχος, τόσο μικρότερο πρέπει να είναι και το βήμα δειγματοληψίας

3. Απόσταση μεταξύ γραμμών : Η απόσταση μεταξύ των γραμμών μελέτης παίζει ανάλογο ρόλο με αυτό του βήματος δειγματοληψίας, καθώς όσο πιο πυκνές είναι οι γραμμές τόσο μεγαλύτερη η ακρίβεια και κατά συνέπεια η αξιοπιστία της διασκόπησης.

Οι πιο συνηθισμένες μέθοδοι διασκόπησης είναι οι παρακάτω :

1. Μέθοδος της ανάκλασης (reflectionmode)
2. Μέθοδος του κοινού ενδιάμεσου σημείου (commonmidpoint)
3. Μέθοδος της τομογραφίας (transillumination)

Εξοπλισμός :

Ένα τυπικό σύστημα GPR αποτελείται από τη μονάδα ελέγχου, έναν υπολογιστή, τις κεραίες , τη μπαταρία, τον πομπό και τον δέκτη

Ο πομπός και ο δέκτης προσαρμόζονται στο επάνω μέρος των κεραίων, ώστε η μία κεραία να χρησιμοποιείται για την εκπομπή και η άλλη για την λήψη της ακτινοβολίας.

Οι κεραίες συνδέονται μεταξύ τους με μεταλλικό πλαίσιο, ώστε η απόσταση τους να παραμένει σταθερή κατά την διάρκεια των μετρήσεων. Η μονάδα ελέγχου συνδέεται με τον υπολογιστή μέσω σειριακού καλωδίου και με τις κεραίες με καλώδιο οπτικών ινών. Το σήμα που λαμβάνει η κεραία του δέκτη προωθείται στην μονάδα ελέγχου, όπου μετρείται ο χρόνος διαδρομής και το πλάτος του κύματος. Οι μετρήσεις καταγράφονται στον σκληρό δίσκο του υπολογιστή και ταυτόχρονα εμφανίζεται το ίχνος του σήματος στην οθόνη. (Βαφείδης 2001)

Βιβλιογραφική έρευνα

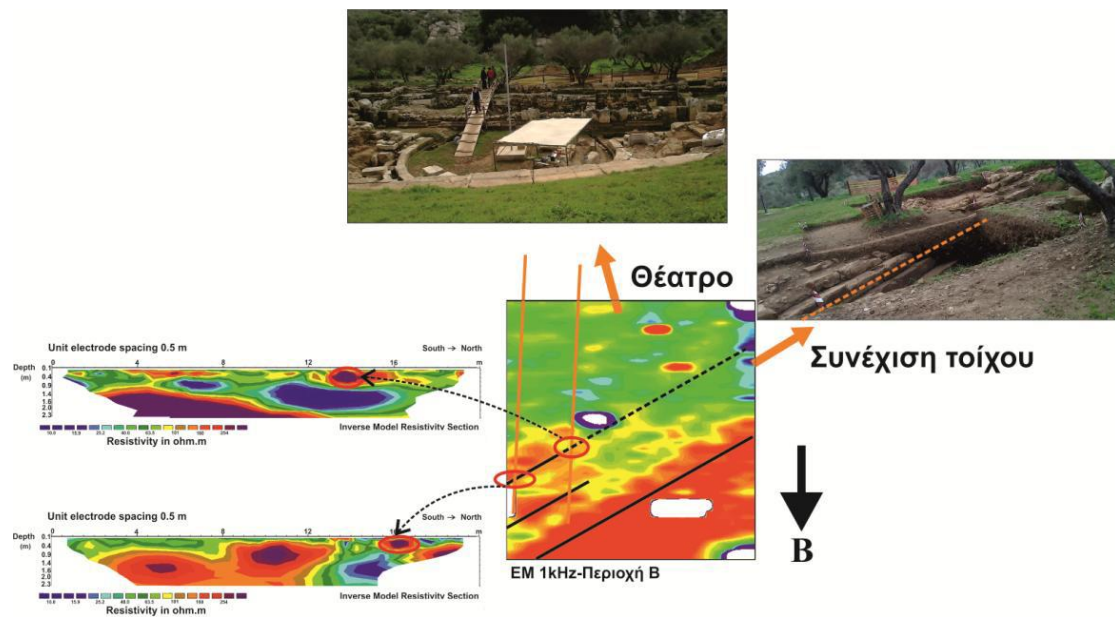
Με βάση τη βιβλιογραφική έρευνα που πραγματοποιήθηκε φαίνεται ότι κατά τις τελευταίες δεκαετίες η γεωφυσική μέθοδος του γεωραντάρ έχει αναδειχθεί σε μία από τις πιο αποτελεσματικές και αξιόπιστες μη καταστροφικές μεθόδους. Το φάσμα των εφαρμογών στους οποίους μπορεί να χρησιμοποιηθεί αυτή η μέθοδος είναι πολύ μεγάλο.

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας πραγματοποιήθηκε εκτεταμένη βιβλιογραφική έρευνα σχετικά με τη χρήση του γεωραντάρ, είτε αυτοτελώς είτε σε συνδυασμό με άλλες μεθόδους, κυρίως στον τομέα της αρχαιολογικής έρευνας. Μελετήθηκαν και παρουσιάζονται περιληπτικά στοιχεία που αφορούν στις παραμέτρους της διασκόπησης και τα αποτελέσματα που προέκυψαν τόσο από διπλωματικές εργασίες στη Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής του Πολυτεχνείου Κρήτης όσο και από δημοσιευμένες εργασίες από τη διεθνή βιβλιογραφία.

Σκοπός αυτής της έρευνας είναι η κατανόηση όλων των απαραίτητων παραμέτρων για μια επιτυχή διασκόπηση με τη μέθοδο του γεωραντάρ, των τεχνικών επεξεργασίας και η ανάδειξη της αποτελεσματικότητας της μεθόδου στον τομέα της αρχαιομετρίας.

Διπλωματικές Εργασίες

Ο Παγάνης Α. (2015) εκτέλεσε σειρά γεωφυσικών διασκοπήσεων στον αρχαιολογικό χώρο των αρχαίων Απτέρων Χανίων και συγκεκριμένα στην περιοχή του Ρωμαϊκού θεάτρου (εικόνα 2.1). Σκοπός αυτής της μελέτης ήταν ο εντοπισμός θαμμένων ανθρωπογενών δομών στην περιοχή του θεάτρου και η γεωφυσική χαρτογράφηση της ευρύτερης περιοχής γύρω από το ρωμαϊκό θέατρο. Για την αποπεράτωση της εργασίας χρησιμοποιήθηκαν τέσσερις μέθοδοι διασκόπησης, η ηλεκτρομαγνητική μέθοδος του κινούμενου πομπού-δέκτη, η μαγνητική χαρτογράφηση, η μέθοδος του γεωραντάρ και η ηλεκτρική τομογραφία. Στη συνέχεια τα δεδομένα επεξεργάστηκαν με τη βοήθεια των προγραμμάτων Transform και RES2DINV. Από την συνδυαστική ερμηνεία των αποτελεσμάτων προέκυψαν πιθανές θαμμένες δομές σε 4 περιοχές μελέτης, οι οποίες εκτιμώνται ότι είναι θαμμένα τοιχεία, ερείπια και αρχαία μονοπάτια, κάνοντας έτσι ξεκάθαρο ότι ο συνδυασμός πληθώρας μεθόδων στην αρχαιολογική έρευνα δίνει τα βέλτιστα αποτελέσματα.



Εικόνα 2:1: Διασκόπηση στον αρχαιολογικό χώρο των αρχαίων Απτέρων Χανίων

Ο Βλάσης Ι. (2009) παρουσίασε μελέτη με θέμα τη γεωφυσική διασκόπηση στον αρχαιολογικό χώρο των αρχαίων Απτέρων στα Χανιά. Σκοπός αυτής της διπλωματικής ήταν η ανάδειξη της ικανότητας των γεωφυσικών μεθόδων να εφαρμοστούν με αξιοπιστία στην αρχαιομετρία. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν ήταν η χαρτογράφηση με τη μέθοδο της μαγνητικής βαθμίδας και τη μέθοδο της ηλεκτρικής αντίστασης, προκειμένου να εντοπιστούν, να οριοθετηθούν και να εντοπιστούν θαμμένες αρχαιότητες σε μια έκταση 7500 m². Χρησιμοποιήθηκαν φίλτρα που τονίζουν τις ανωμαλίες σε ρηχά βάθη προκειμένου να εντοπιστούν ενδεχόμενες ανθρωπογενείς θαμμένες δομές. Μετά την συνδυαστική ερμηνεία των γεωφυσικών χαρτών υπήρξε επιτυχής αποτύπωση θαμμένων υπολειμμάτων τοίχων και χαρτογραφήθηκε μέρος του πολεοδομικού ιστού της αρχαίας πόλης των Απτέρων. Από τα δεδομένα προκύπτουν χρήσιμα συμπεράσματα αναφορικά με την δυνατότητα χρήσης αλλά και την αποτελεσματικότητα των γεωφυσικών μεθόδων στον εντοπισμό και στην οριοθέτηση θαμμένων στόχων στην αρχαιολογία.

Η Ευθυμίου Μ. (2012) επεξεργάστηκε και ερμήνευσε δεδομένα γεωφυσικής διασκόπησης με τη μέθοδο του γεωραντάρ με σκοπό την απεικόνιση θαμμένων αρχαιοτήτων στην περιοχή των Αρχαίων Απτέρων. Τα δεδομένα συλλέχθηκαν κατά την διάρκεια των ασκήσεων υπαίθρου 4 στην περιοχή της Τρίκλιτης δεξαμενής και του Μοναστηριού σε 2 κανάβους των 23 και 29 γραμμών αντίστοιχα καθώς και σε

εννιά επιμέρους κανάβους σε επιλεγμένες θέσεις του αρχαιολογικού χώρου. Αρχικά δημιουργήθηκαν οι τομές γεωραντάρ στιγμιαίων πλατών με το πρόγραμμα GPRPro και στη συνέχεια ακολούθησε η επεξεργασία και η εξομάλυνση των δεδομένων των τομών με το πρόγραμμα Transform. Από τα δεδομένα προέκυψε θαμμένη δεξαμενή κυκλικής διατομής, καθώς επίσης και πληθώρα αρχαιολογικών λειψάνων στις περιοχές δυτικά της Τρίκλιτης δεξαμενής και ανατολικά του Μοναστηρίου.

Η Μανατάκη Μ. (2011) στα πλαίσια της διπλωματικής της εργασίας, πραγματοποίησε γεωφυσική διασκόπηση με τη μέθοδο του γεωραντάρ στον αρχαιολογικό χώρο της Απτέρας στον νομό Χανίων με σκοπό τον εντοπισμό πιθανών θέσεων θαμμένων αρχαιοτήτων στην ευρύτερη περιοχή της αρχαίας πόλης. Διασκοπήθηκαν 230 γραμμές συνολικού μήκους 4384 m σε επιλεγμένες περιοχές που μέχρι εκείνη τη στιγμή δεν είχαν γίνει ανασκαφές. Χρησιμοποιήθηκαν δύο κεραίες γεωραντάρ συχνότητας 250 και 400 MHz αντίστοιχα. Στη συνέχεια τα δεδομένα που προέκυψαν επεξεργάστηκαν με τα προγράμματα MATLAB και GPR-Pro . Τα αποτελέσματα που προέκυψαν χρησιμοποιήθηκαν για την χαρτογράφηση όλων των επιλεγμένων θέσεων του αρχαιολογικού χώρου. Έτσι επετεύχθει η προσανατολισμένη ανασκαφή θαμμένων ανθρωπογενών δομών καθώς επίσης και η μείωση του χρόνου και του κόστους αναγνωριστικών ανασκαφών.

Ο Ιωαννίδης Π. (2008) παρουσίασε την διπλωματική του εργασία με θέμα την απεικόνιση θαμμένων αρχαιοτήτων με γεωφυσικές μεθόδους στον αρχαιολογικό χώρο της Ιτάνου Λασιθίου. Για την εκπόνηση αυτής της εργασίας πραγματοποιήθηκε γεωφυσική διασκόπηση με τη μαγνητική μέθοδο, τη μέθοδο ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και τη μέθοδο μαγνητικής τομογραφίας. Από τον συνδυασμό των παραπάνω μεθόδων , καθώς επίσης και τη συνδυαστική ερμηνεία τους, προέκυψαν κάποιες πιθανές θέσεις θαμμένων ανθρωπογενών δομών. Αυτές οι θέσεις αποδείχθηκαν ακριβείς, καθώς από μετέπειτα ανασκαφές στα σημεία που επιλέχθηκαν από τη γεωφυσική έρευνα αποκαλύφθηκε ένα πηγάδι και τρεις παράλληλοι θαμμένοι τοίχοι.

Ο Πουλιούδης Γ. (1999) στα πλαίσια της διπλωματικής του εργασίας πραγματοποίησε γεωφυσική διασκόπηση στον αρχαιολογικό χώρο της Ιτάνου Λασιθίου με τη μέθοδο του γεωραντάρ με σκοπό την συλλογή δεδομένων για την

ανίχνευση και τον εντοπισμό πιθανών θαμμένων αρχαίων ανθρωπογενών δομών, τον προσδιορισμό των γεωλογικών χαρακτηριστικών του υπεδάφους καθώς επίσης και την αξιολόγηση του γεωραντάρ σαν ένα πιθανό εργαλείο κατάλληλο να εφαρμοστεί στην αρχαιολογία. Η έρευνα έγινε σε δύο περιοχές, όπου στη μία σχηματίστηκε κάναβος διαστάσεων 15 επί 16 μέτρων και χρησιμοποιήθηκε κεραία συχνότητας 225 MHz, ενώ στη δεύτερη σχεδιάστηκε γραμμή μελέτης μήκους 31 μέτρων και χρησιμοποιήθηκε κεραία συχνότητας 110 MHz. Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν, επεξεργάστηκαν με το πρόγραμμα PulseEKKO, ενώ έγινε και λεπτομερής ανάλυση των δεδομένων των τομών με το λογισμικό πακέτο Promax 2D. Από την ερμηνεία των αποτελεσμάτων εντοπίστηκε πληθώρα θαμμένων δομών και στις 2 περιοχές μελέτης και παρόλο τα σημεία δεν έχουν ανασκαφεί ακόμα, η παρουσία θαμμένων αρχαιοτήτων θεωρείται βέβαιη.

Ο Οικονόμου Ν.(1998) πραγματοποίησε γεωφυσική διασκόπηση στον αρχαιολογικό χώρο της Ιτάνου Λασιθίου, με σκοπό τη διερεύνηση του υπεδάφους για τον εντοπισμό θαμμένων αρχαιοτήτων. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν ήταν η ηλεκτρική διασκόπηση, η μαγνητική διασκόπηση, η μέθοδος του γεωραντάρ, καθώς επίσης και μία σειρά βυθοσκοπήσεων με τη μέθοδο Schlumberger. Τα δεδομένα επεξεργάστηκαν με την βοήθεια του προγράμματος SpyglassTransform και στη συνέχεια δημιουργήθηκαν χάρτες των περιοχών μελέτης. Από την συνδυαστική ερμηνεία των αποτελεσμάτων και των χαρτών προέκυψε πληθώρα πιθανών θαμμένων δομών ενδιαφέροντος όπως η πιθανή ύπαρξη τείχους, διαφόρων ερειπίων , αλλά ακόμα και αρχαίας προβλήτας στις περιοχές όπου έλαβαν χώρα οι βυθοσκοπήσεις.

Ο Σηφακάκης Ε. (1999) μελέτησε το μνημείο του Οκταβιανού στον αρχαιολογικό χώρο της Νικόπολης Πρέβεζας προκειμένου να εξεταστεί η αποτελεσματικότητα του γεωραντάρ στην αρχαιολογία και να χαρτογραφηθεί ο χώρος του μνημείου ούτως ώστε να εντοπιστούν πιθανά αρχαιολογικά κτίσματα θαμμένα στο υπέδαφος. Για την διασκόπηση σχεδιάστηκαν 19 γραμμές μελέτης διαφόρων μηκών με βήμα δειγματοληψίας 0.2 m, ισαπόσταση μεταξύ τους 2 m και απόσταση μεταξύ των σταθμών 0.5 m. Χρησιμοποιήθηκε κεραία γεωραντάρ συχνότητας 225 MHz. Στην συνέχεια τα δεδομένα τα οποία προέκυψαν υπέστησαν επεξεργασία μέσω των προγραμμάτων ProMaxV6 , pulseEKKO 100 RUN, TimeSlices, Surfer 6 και Transform 3.4. Από την ερμηνεία των επεξεργασμένων μετρήσεων προέκυψαν πιθανά θαμμένα τοιχεία σε θέση η οποία συμφωνεί με προϋπάρχοντα τοπογραφικό

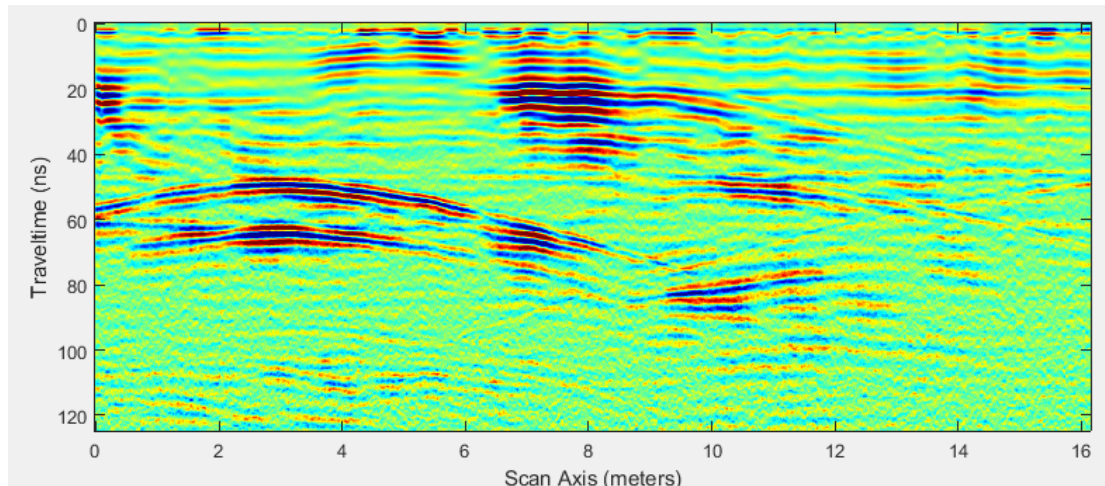
χάρτη. Τέλος ο συγγραφέας συμπέρανε ότι τα αποτελέσματα δεν ήταν τα ιδανικά και έκρινε απαραίτητο να συνεχιστεί η μελέτη του μνημείου με πραγματοποίηση νέας διασκόπησης όπου η ισαπόσταση μεταξύ των γραμμών θα μειωθεί και θα χρησιμοποιηθεί κεραία μικρότερης συχνότητας προκειμένου να ληφθούν καλύτερα αποτελέσματα.

Η Ττάνου Κ. (2010) επεξεργάστηκε γεωφυσικά δεδομένα τα οποία συλλέχθηκαν στον αρχαιολογικό χώρο της αρχαίας Λυττούς στην Κρήτη έπειτα από σειρά γεωφυσικών διασκοπήσεων με σκοπό την ανάδειξη τοποθεσιών στις οποίες βρίσκονται θαμμένες αρχαίες ανθρωπογενείς δομές. Στα πλαίσια αυτής της μελέτης χρησιμοποιήθηκαν η μέθοδος της ηλεκτρικής χαρτογράφησης, της μαγνητικής χαρτογράφησης, της ηλεκτρικής τομογραφίας αλλά και του γεωραντάρ. Η έρευνα κάλυψε περιοχή μεγέθους 219 m².. Από την συνδυαστική ερμηνεία των δεδομένων προέκυψαν κάποιες ανωμαλίες οι οποίες μαρτυρούν την πιθανή ύπαρξη θαμμένων αρχαιοτήτων. Συμπερασματικά, η χρήση του γεωραντάρ βοήθησε ώστε να αναδειχθούν με μεγαλύτερη λεπτομέρεια και ευκρίνεια οι δομές οι οποίες είχαν ήδη εντοπισθεί με τις συμβατικές μεθόδους.

Ο Χατζηγεωργίου Μ. (2010) παρουσίασε την διπλωματική του εργασία με θέμα την επεξεργασία δεδομένων γεωραντάρ που προήλθαν από τελείως διαφορετικές περιοχές μελέτης με τη βοήθεια των προγραμμάτων GPR-PRO και RADIAN. Τα δεδομένα που υπέστησαν επεξεργασία προέκυψαν κυρίως από τοιχοδομές αρχαιολογικού ενδιαφέροντος στην πλατεία Αγίου Μάρκου στα Χανιά. Μετά το πέρας της επεξεργασίας των δεδομένων με σκοπό τη βέλτιστη εικόνα, τα ανακλώμενα κύματα από τις θαμμένες τοιχοδομές τονίστηκαν καλύτερα.

Η Γαραντζιώτη Β.(2018) επεξεργάστηκε δεδομένα γεωραντάρ που συλλέχθηκαν στο Φρούριο Κούλε στο Ηράκλειο Κρήτης (εικόνα 2.2).Σκοπός αυτής της μελέτης ήταν η ανάδειξη τυχόν θαμμένων δομών κάτω από το μνημείο, καθώς επίσης και ο έλεγχος του μεγέθους της διάβρωσης του μνημείου. Οι περιοχές μελέτης ήταν οι εσωτερικοί και εξωτερικοί τοίχοι και το δάπεδο του ισόγειου του κτηρίου. Για την συγκεκριμένη διασκόπηση επιλέχθηκε κεραία γεωραντάρ συχνότητας 400 MHz. Στην συνέχεια τα δεδομένα τα οποία συλλέχθηκαν επεξεργάστηκαν με τη βοήθεια του προγράμματος matgpr, ενώ για τη γραμμή που διασκοπήθηκε στο πάτωμα του κτιρίου έγινε σύγκριση πραγματικών με συνθετικά δεδομένα. Από την επεξεργασία των δεδομένων

γεωραντάρ και τη μελέτη των συνθετικών δεδομένων προέκυψαν ενδείξεις που συνιστούν την ύπαρξη θολωτών δομών κάτω από το δάπεδο του ισογείου του μνημείου, οι οποίες πιθανότατα λειτουργούσαν ως στοές εκτόνωσης της θάλασσας. Τέλος, παρατηρήθηκε πληθώρα εξασθενημένων καταγραφών, οι οποίες αποδίδονται στα αυξημένα ποσοστά υγρασίας στους τοίχους του μνημείου.

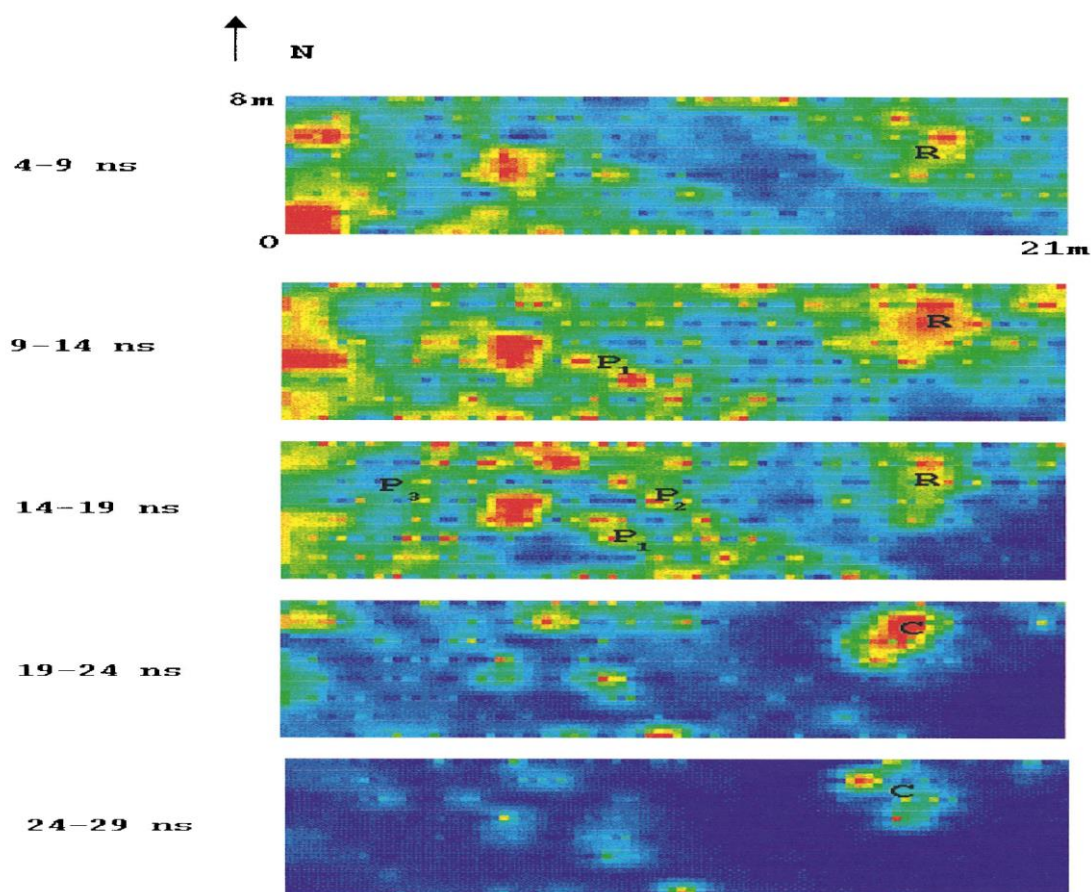


Εικόνα 2.2 : Τομή γεωραντάρ από το Φρούριο Κούλε του Ηρακλείου

Ο Σταγάκης Γ. (2017) παρουσίασε την διπλωματική του εργασία με θέμα τη συνδυασμένη ερμηνεία γεωφυσικών δεδομένων από τα οχυρωματικά τείχη στα Δυτική Τάφρο στα Χανιά Κρήτης. Στην εργασία αυτή έγινε ερμηνεία και επεξεργασία δεδομένων που προέκυψαν από δύο γεωφυσικές μεθόδους, αυτή της ηλεκτρικής τομογραφίας και του γεωραντάρ. Σκοπός της εργασίας είναι η εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τη συνοχή και τη δομή των τειχών της Δυτικής τάφρου. Τα δεδομένα γεωραντάρ επεξεργάστηκαν με το πρόγραμμα MATGPR, ενώ τα δεδομένα της ηλεκτρικής τομογραφίας επεξεργάστηκαν με το πρόγραμμα RES2DINV. Από την συνδυαστική τους ερμηνεία προέκυψε το ακριβές πάχος των τειχών, καθώς και η δομή τους. Το κύριο συμπέρασμα το οποίο εξήγαγε η συγκεκριμένη διπλωματική έχει να κάνει με τη δυνατότητα της μεθόδου του γεωραντάρ να συνδυαστεί με άλλες μη καταστροφικές μεθόδους προκειμένου να δώσει ακριβή και αξιόπιστα αποτελέσματα.

Διεθνής Βιβλιογραφία

Οι Basile V. et al (2000) πραγματοποίησαν γεωφυσική διασκόπηση με τη μέθοδο του γεωραντάρ σε αστική περιοχή της πόλης Λέτσε της Ιταλίας με σκοπό το λεπτομερή χαρακτηρισμό των επιφανειακών στρωμάτων του υπεδάφους, όπου σύμφωνα ιστορικά δεδομένα υπάρχουν θαμμένα αρχαία κτίσματα, καθώς επίσης και τη γρήγορη ταυτοποίηση ανωμαλιών με σκοπό την άμεση ανασκαφή (εικόνα 2.3). Η έκταση στην οποία πραγματοποιήθηκε η διασκόπηση ήταν 10.000 m^2 . Ο προσανατολισμός των γραμμών ήταν με κατεύθυνση Νότος-Βορράς, ενώ η απόσταση ανάμεσα σε κάθε γραμμή ήταν πέντε μέτρα. Τέλος χρησιμοποιήθηκαν 2 κεραίες, 500 και 100 MHz, αλλά χρησιμοποιήθηκε κατά κύριο λόγο μόνο η κεραία 500 MHz. Από την έρευνα εντοπίστηκε ένα υπόγειο σε αρχαίο κτίσμα καθώς επίσης και μια κοιλότητα παραπλήσια του κτίσματος τα οποία επιβεβαιώθηκαν από τις ανασκαφές

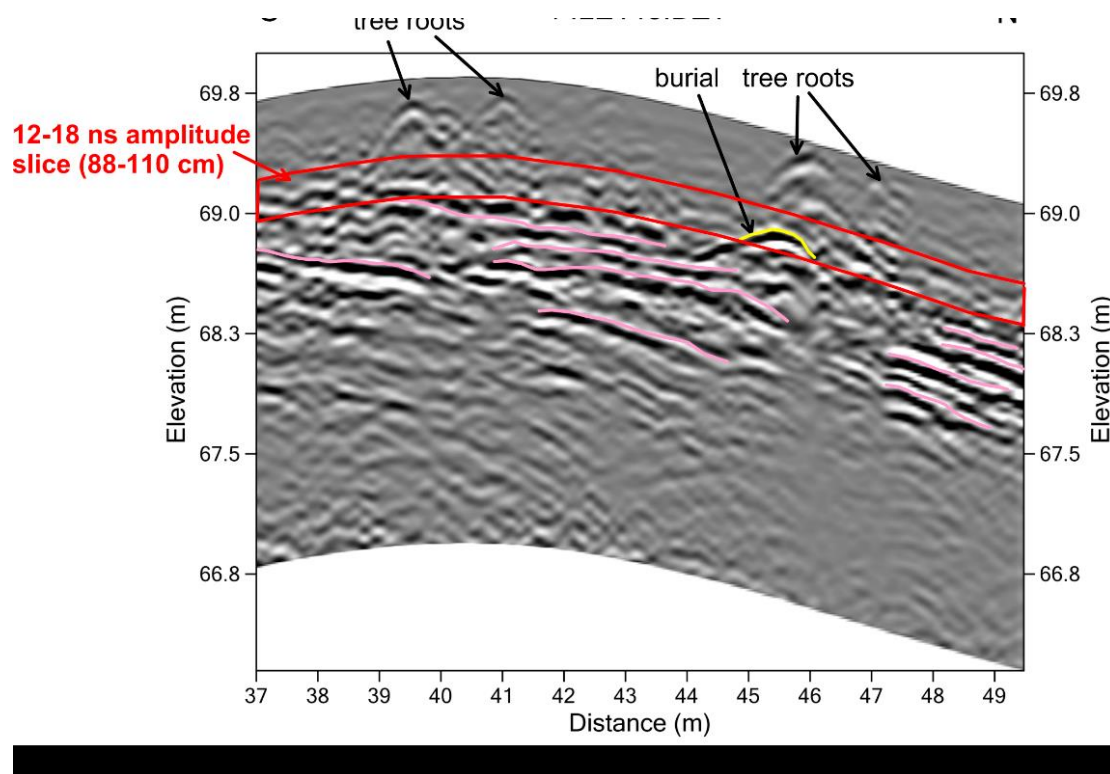


Εικόνα 2.3: Δεδομένα γεωραντάρ από διασκόπηση στο Λέτσε Ιταλίας

Ο Zhao W. et al (2015) χρησιμοποίησαν τη γεωφυσική μέθοδο του γεωραντάρ στην περιοχή Λιανγκζου της νότιας Κίνας με σκοπό να εξετάσουν την αποτελεσματικότητα της μεθόδου στον εντοπισμό ενός λεπτού καμένου εδαφικού στρώματος αρχαίας προέλευσης σε βάθος 2 m. Η περιοχή της διασκόπησης έχει

μήκος 670 m με κατεύθυνση από την ανατολή στη δύση και 450 m από το νότο στο βορρά και επιλέχθηκε λόγω των μη ιδανικών συνθηκών στην επιφάνεια (μεγάλη ηλεκτρική αγωγιμότητα και ύπαρξη πυκνών ριζών που προκαλούν διασκόρπιση των κυμάτων) , συλλέχθηκαν πυκνές μετρήσεις με την απόσταση μεταξύ των γραμμών να είναι μόλις 0.1 m . Χρησιμοποιήθηκαν κεραίες γεωραντάρ συχνότητας 100 MHz και 200 MHz. Η μελέτη αυτή αποδεικνύει ότι η χρήση κεραίων διαφορετικών συχνοτήτων και ο συνδυασμένη ερμηνεία των δεδομένων από τις διαφορετικές συχνότητες μπορεί να ενισχύσει σημαντικά την ικανότητα κάποιου να χαρακτηρίσει προϊστορικά αρχαιολογικά ευρήματα ακόμα και αν οι επιφανειακές συνθήκες δεν είναι ιδανικές.

Ο Conyers L. et al (2019) πραγματοποίησαν γεωφυσική μελέτη με τη μέθοδο του γεωραντάρ στην περιοχή Μαπούν της Αυστραλίας με σκοπό την μελέτη κάποιων, πιθανόν ανθρωπογενών, αναχωμάτων προκειμένου να διευκρινιστεί εάν χρησιμοποιούνταν σαν τάφοι, καθώς επίσης και η πιθανή περαιτέρω χρήση τους από τους αρχαίους κατοίκους της περιοχής. Χρησιμοποιήθηκε μία κεραία γεωραντάρ συχνότητας 400 MHz με την απόσταση μεταξύ των γραμμών να είναι 0.5 m. Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από το γεωραντάρ στη συνέχεια επεξεργάστηκαν και κατασκευάστηκε μία τρισδιάστατη απεικόνιση της περιοχής μελέτης. Από την έρευνα προέκυψε ότι οι τοποθεσίες αυτές χρησιμοποιούνταν εντατικά από τους ανθρώπους της περιοχής πιθανότατα σαν χώροι για εκδηλώσεις ή τελετουργίες. Τα αναχώματα κατασκευάστηκαν από αυτούς αργότερα και χρησιμοποιήθηκαν σαν περιοχές ταφής για κάποια (αλλά όχι όλα) μέλη της τοπικής κοινωνίας, πράγμα που αποδεικνύει μια πολύπλοκη κοινωνική διαστρωμάτωση.

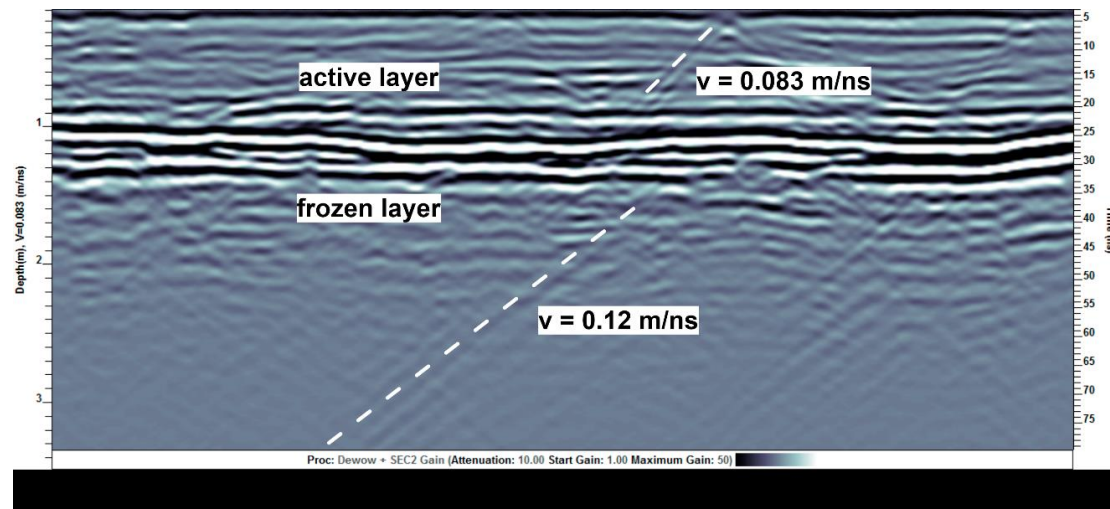


Εικόνα 2.4: Δεδομένα γεωραντάρ από το Μαπούν Αυστραλίας

Ο Conyers L. (2012) πραγματοποίησε μία σειρά γεωφυσικών διασκοπήσεων με τη μέθοδο του γεωραντάρ στην περιοχή της νότιας Αριζόνα των Η.Π.Α με σκοπό την ανάδειξη των δυνατοτήτων του γεωραντάρ στην ανακάλυψη αλλά και στην χαρτογράφηση θαμμένων αρχαιοτήτων τα οποία βρίσκονται θαμμένα σε διάφορα βάθη. Χρησιμοποιήθηκαν κεραίες 400 και 900 MHz σε πολλές τοποθεσίες της νότιας Αριζόνα, με την κεραία 400 MHz να μπορεί να διεισδύσει σε μεγαλύτερο βάθος (μέχρι και τα 2 m), ενώ η κεραία 900 MHz δίνει τη λεπτομερέστερου εντοπισμού σε μικρότερο όμως βάθος. Από την έρευνα χαρτογραφήθηκαν επιτυχώς οριζόντια συμπαγή εδαφικά στρώματα (σύνηθες χαρακτηριστικό της Αριζόνα), καθώς επίσης και αρδευτικά κανάλια, φούρνοι και χώροι οι οποίοι πιθανώς να χρησίμευαν σαν εσωτερικά εργαστήρια.

Ο Urban T. et al (2016) χρησιμοποίησαν την τεχνική του γεωραντάρ στην Αλάσκα, προκειμένου να παρουσιάσουν την εφαρμογή του στην αρχαιολογία σε ένα παγωμένο περιβάλλον το οποίο παρουσιάζει πολλά πρακτικά προβλήματα (πρόσβαση μόνο με αεροπλάνο και δυσχερείς συνθήκες) αλλά και στην επεξεργασία των μετρήσεων (ξαφνικές αλλαγές της ταχύτητας και ανωμαλίες λόγω πάγου οι οποίες μπορούν πολύ

εύκολα να παρερμηνευθούν). Για την λήψη των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε μία κεραία συχνότητας 250 MHz και η απόσταση μεταξύ των γραμμών κυμαινόταν από 20 cm μέχρι 50 cm. Τα αποτελέσματα απέδειξαν ότι η τεχνική του GPR μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε αρκτικές συνθήκες, καθώς κατάφερε να αποκαλύψει ημι-θαμμένα απομεινάρια σπιτιών, αλλά ακόμα και να εντοπίσει ανωμαλίες που πρόδιδαν την ύπαρξη σκελετών μαμούθ από την εποχή του Πλειστόκαινου στο εσωτερικό του πάγου (Εικόνα 2.5).



Εικόνα 2.5: Τομή Γεωραντάρ σε στρώμα πάγου στην Αλάσκα

Ο Conyers L. (2015) παρουσίασε μια μελέτη η οποία αφορούσε την ερμηνεία των συνθετικών δεδομένων γεωραντάρ για την επίτευξη μιας ολοκληρωμένης αρχαιολογικής χαρτογράφησης. Για να επιτευχθεί αυτή η ερμηνεία, εκτός από την διαδικασία δημιουργίας χαρτών σε μορφή οριζόντιων τομών, πρέπει να αναλυθούν κάθε ένα από τα ίχνη ανάκλασης καθώς επίσης και όλα τα προφίλ ανακλάσεων. Μόνο όταν όλα τα βασικά δεδομένα έχουν αναλυθεί μπορεί να κατανοηθεί η πληθώρα ανακλαστήρων που παρουσιάζονται σε ποικίλα βάθη και τοποθεσίες. Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας που πρέπει να εξεταστεί είναι τα στρωματογραφικά επίπεδα του υπεδάφους, αλλά και η τοπογραφία της περιοχής.

Η Pajewski L. et al (2017) στα πλαίσια ενός συνεδρίου που αφορούσε τις χρήσεις του γεωραντάρ σε προβλήματα πολιτικού μηχανικού παρουσίασαν μια μελέτη η οποία παρουσίαζε πολλές μελέτες στις οποίες χρησιμοποιήθηκε η τελευταία λέξη της τεχνολογίας του γεωραντάρ προκειμένου να εντοπιστούν και να ταυτοποιηθούν αρχαία κτίσματα ή γεωλογικοί σχηματισμοί (όπως έγινε σε μία σπηλιά της Σλοβενίας χρησιμοποιώντας κεραία συχνότητας 50MHz προκειμένου να χαρτογραφηθεί η

είσοδος της). Σε κάποιες περιπτώσεις χρησιμοποιήθηκε κεραία γεωραντάρ συχνότητας μεγαλύτερης των 2 GHz σε αρχαία, κτίσματα και μνημεία (όπως τα αγάλματα του ναυαγίου των Αντικυθήρων) προκειμένου να διευκρινιστεί η συνοχή, η αντοχή αλλά και η ύπαρξη εσωτερικών ρωγμών αόρατων στο γυμνό μάτι για λόγους συντήρησης.

Ο Shokri_N. και ο Amin_Z. (2016) βρέθηκαν στην περιοχή Κενταχ της Μαλαισίας προκειμένου να πραγματοποιήσουν μια σειρά γεωφυσικών διασκοπήσεων με τη μέθοδο του γεωραντάρ με σκοπό την αποκάλυψη χώρων αρχαιολογικού ενδιαφέροντος καθώς επίσης και την ανάδειξη του γεωραντάρ σαν μια μη καταστροφική μέθοδο κατάλληλη για να χρησιμοποιηθεί στην αρχαιολογία. Από τις 97 τοποθεσίες που αναφέρθηκαν από ντόπιους σαν πιθανές τοποθεσίες αρχαιολογικού ενδιαφέροντος, ελέγχθηκαν πάνω από 50. Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν μετατράπηκαν στη συνέχεια σε τρισδιάστατες απεικονίσεις. Υπήρξαν πολλά ευρήματα, με σπουδαιότερο έναν τοίχο παραπλήσια του ποταμού, πράγμα που αποδεικνύει την ύπαρξη (πιθανότατα εμπορικής) κινητικότητας των αρχαίων κατοίκων της περιοχής γύρω από το ποτάμι.

Ο Ahmed S. et al(2019) παρουσίασαν γεωφυσική έρευνα αρχαιολογικού ενδιαφέροντος η οποία πραγματοποιήθηκε στην περιοχή Φαγιούν της Αιγύπτου. Για την πραγματοποίηση της έρευνας συνδυάστηκαν δύο γεωφυσικές μέθοδοι: η μέθοδος του γεωραντάρ και η μαγνητική μέθοδος. Η έκταση που διασκοπήθηκε ήταν περίπου 3700 m^2 . Χρησιμοποιήθηκαν κεραίες συχνοτήτων 100, 120 και 200 MHz αλλά επεξεργάστηκαν μόνο τα δεδομένα των 100 MHz καθώς προσέφεραν μεγάλη ευκρίνεια ακόμα και στο μεγαλύτερο βάθος (7m). Η απόσταση μεταξύ των γραμμών ήταν 1 m. Μετά την επεξεργασία των δεδομένων και τον συνδυασμό και των 2 μεθόδων προέκυψαν πολλές τοποθεσίες πιθανού αρχαιολογικού ενδιαφέροντος, ενώ σε κάποιες περιπτώσεις και οι 2 μέθοδοι συμφωνούσαν ακόμα και ως προς το βάθος. Σε κάποιες περιπτώσεις η μόνο μία από τις 2 μεθόδους έδειχνε κάποιον πιθανό στόχο, πράγμα που αποδεικνύει την χρησιμότητα συνδυασμού και των 2. Παρόλα αυτά δεν έχει πραγματοποιηθεί ακόμα ανασκαφή στην περιοχή προκειμένου να αποδειχθεί η ορθότητα των αποτελεσμάτων των μετρήσεων.

Ελεγχόμενα πειράματα

Ο Conyers L.(2013) πραγματοποίησε σειρά διασκοπήσεων υπό πλήρως ελεγχόμενες συνθήκες στον χώρο πειραματικών αρχαιολογικών δοκιμών γεωραντάρ HAMMER στο Richland της Washington (Εικόνα 2.6). Πληθώρα αντικειμένων διαφορετικών υλικών, σχημάτων και μεγεθών θάφτηκαν σε βάθη από 30 μέχρι 90 cm σε αμμώδες έδαφος. Χρησιμοποιήθηκαν κεραίες γεωραντάρ συχνοτήτων 900, 500 και 400 MHz και οι μετρήσεις πάρθηκαν δύο φορές, μία με στεγνό έδαφος και μία με υγρό. Τα πέτρινα και τα μεταλλικά αντικείμενα ταυτοποιήθηκαν σε όλες τις περιπτώσεις χρησιμοποιώντας την κεραία 900 MHz, εκτός από αυτά που ήταν θαμμένα σε μεγαλύτερο βάθος. Τα μεταλλικά στοιχεία ταυτοποιήθηκαν και στο υγρό έδαφος, ενώ τα ξύλινα μόνο στο υγρό. Τέλος αποδείχθηκε ότι η συχνότητα των κεραιών παίζει μεγάλο ρόλο στην λεπτομέρεια και στο βάθος, αφού όσο μικρότερη ήταν η συχνότητα της κεραίας τόσο μεγαλύτερο ήταν το βάθος που κατάφεραν να διεισδύσουν τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα του γεωραντάρ.



Εικόνα 2.6: Ο χώρος πειραματικών δοκιμών γεωραντάρ HAMMER στην Ουάσινγκτον

Ο McNaughton C. (2011) παρουσίασε τη διατριβή του με θέμα τον χαρακτηρισμό εδάφους εμποτισμένου με βενζίνη σε περίοδο ενός έτους με τη μέθοδο του γεωραντάρ. Για τις ανάγκες του πειράματος χρησιμοποιήθηκε πειραματική δεξαμενή πληρωμένη με άμμο στην οποία εγχύθηκαν 200 L βενζίνης τύπου E10. Χρησιμοποιήθηκαν 2 κεραίες γεωραντάρ συχνότητας 450 και 900 MHz. Η δεξαμενή ελεγχόταν τακτικά και με τις δύο κεραίες για περίοδο ενός έτους προκειμένου να

καταγραφούν βραχυπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες μεταβολές. Η κεραία των 900 MHz αποκάλυψε από την πρώτη μέρα πληθώρα ανακλάσεων κοντά στο σημείο της έγχυσης, με τις ανακλάσεις αυτές να μειώνονται σταδιακά με το χρόνο. Χάρης στην μεγαλύτερη διακριτική ικανότητα σε βάθος που έχει η κεραία των 450 MHz, η ανάκλαση από τον πυθμένα της δεξαμενής έδωσε στοιχεία (σε βάθος χρόνου) συνεχούς ανακατανομής των ρευστών μέσα στη δεξαμενή. Τέλος, κατά την χειμερινή περίοδο, παρατηρήθηκε η επίδραση του πάγου, με το πάχος του πάγου να είναι αισθητά επηρεασμένο από την παρουσία της ζώνης βενζίνης.

Ελεγχόμενο πείραμα Sandbox

Το ελεγχόμενο πείραμα πραγματοποιήθηκε στο πανεπιστήμιο του Στρασβούργου στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος HYGEIA. Χρησιμοποιήθηκε κυλινδρικό πλαστικό δοχείο διαμέτρου 2m και ύψους 0,98m το οποίο πληρώθηκε με κόκκους άμμου διαμέτρου 0.3-0.4mm. Στο κάτω μέρος του δοχείου υπήρχε στρόφιγγα για την εισαγωγή και εξαγωγή νερού στο δοχείο. Μέσα στην άμμο τοποθετήθηκαν διάφορα αντικείμενα, όπως ένας πλαστικός σωλήνας πληρωμένος με νερό, ένας κενός πλαστικός σωλήνας, ένας σιδερένιος σωλήνας, τρεις μεταλλικές σφαίρες, καθώς και ένα αργιλικό στρώμα. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με το γεωραντάρ Pulse Ekko1000. Μετά από πειράματα αποφασίστηκε η χρήση κεραιών συχνότητας εκπομπής 1200 MHz, διότι παρέχουν την καλύτερη ανάλυση καθώς και ικανό βάθος διείσδυσης, ώστε να καταγραφεί η ανάκλαση από τον πυθμένα του δοχείου, τουλάχιστον στην περίπτωση που η άμμος ήταν στεγνή. Διασκοπήθηκαν 71 παράλληλες γραμμές μελέτης με βήμα δειγματοληψίας 2 cm και ισοαπόσταση γραμμών ίση με 2 cm . Επίσης, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις κατά μήκος τριών κάθετων γραμμών μελέτης. Η πρώτη ομάδα δεδομένων συλλέχτηκε, όταν η άμμος ήταν στεγνή. Έπειτα εισήχθησαν 340lit νερού και σχηματίστηκε υδροφόρος ορίζοντας σε βάθος 72 cm και έπειτα άλλα 240lit, οπότε ο υδροφόρος ανέβηκε στα 48 cm. Για κάθε βάθος του υδροφόρου πραγματοποιήθηκαν οι ίδιες μετρήσεις που είχαν στόχο την εκτίμηση της περιεκτικότητας της άμμου σε νερό (Σπανουδάκης 2007).

Ο Bano M. et al (2009) εκτέλεσαν πείραμα με τη μέθοδο του γεωραντάρ σε δοκιμαστικό δοχείο βάθους 72 cm και διαμέτρου 2 m πληρωμένο με άμμο, το οποίο περιείχε πληθώρα θαμμένων αντικειμένων (sandbox). Για τις ανάγκες της διασκόπησης χρησιμοποιήθηκαν 2 κεραίες γεωραντάρ 900 και 1200 MHz. Στο

δοχείο εγχύθηκε νερό και στην συνέχεια 100L πετρελαίου και έγιναν μετρήσεις με το γεωραντάρ και στις δύο περιπτώσεις, οι οποίες στη συνέχεια συγκρίθηκαν. Τα δεδομένα γεωραντάρ δεν έδειξαν καμία ανάκλαση που να οφείλεται στην ρύπανση λόγω του πετρελαίου, αλλά οι χρόνοι διαδρομής επηρεάστηκαν αισθητά από την παρουσία του. Επίσης παρατηρήθηκε παραμόρφωση στην ανάκλαση του πυθμένα του δοχείου, παρόλο που δεν υπήρχε παρουσία καυσίμου. Τέλος, η ταχύτητα παρατηρήθηκε αυξημένη στο σημείο κοντά στην έγχυση του πετρελαίου και μειωμένη στο πιο απομακρυσμένο σημείο από την έγχυση του πετρελαίου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ:ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

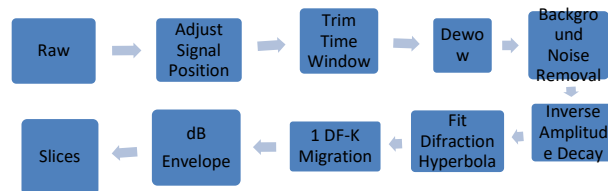
Συλλογή Δεδομένων

Από τις βιβλιογραφικές αναφορές που αναλύθηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο, προκύπτει ότι στην πλειοψηφία των διασκοπήσεων χρησιμοποιήθηκαν κεραίες γεωραντάρ διάφορων συχνοτήτων, με την επικρατέστερη επιλογή να είναι η κεραία των 400 MHz. Η απόσταση μεταξύ των γραμμών στις περισσότερες περιπτώσεις ορίστηκε ως 0.5 m και το βήμα δειγματοληψίας ίσο με 0,05m, καθώς οι περιοχές οι οποίες διασκοπήθηκαν είχαν εμβαδόν πολύ μεγαλύτερο από το εμβαδόν της περιοχής διασκόπησης της παρούσας διπλωματικής.

Για τη συλλογή δεδομένων στη διασκόπηση που πραγματοποιήθηκε στο Archaeolab στο Καστέλι, Κισσάμου χρησιμοποιήθηκαν 2 κεραίες γεωραντάρ συχνότητας 400MHzκαι 900 MHz. Η περιοχή μελέτης χωρίστηκε σε 2 κανάβους. Ο κάναβος 1 (15 m²) διασκοπήθηκε και με τις 2 κεραίες, ενώ ο κάναβος 2 (20 m²) διασκοπήθηκε μόνο με την κεραία συχνότητας 900MHz. Η απόσταση μεταξύ των γραμμών δειγματοληψίας ορίστηκε στα 0.2m λόγω του μικρού εμβαδού της περιοχής διασκόπησης και για την επίτευξη μεγαλύτερης ακρίβειας. Οι γραμμές διασκοπήθηκαν με διεύθυνση Δ-Α, με την πρώτη γραμμή να βρίσκεται Νότια και την τελευταία Βόρεια. Το βήμα δειγματοληψίας ορίστηκε στα 0.02m, τιμή αρκετά μικρή ώστε να εξασφαλιστεί ο εντοπισμός και των μικρότερων στόχων. Τέλος, το διάστημα δειγματοληψίας ορίστηκε στα 0.1466ns.

Επεξεργασία Δεδομένων Γεωραντάρ

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα βήματα της επεξεργασίας προκειμένου οι τομές του γεωραντάρ να φτάσουν στην τελική τους μορφή στην οποία μπορούν να ερμηνευθούν και να εξαχθούν σχετικά ασφαλή συμπεράσματα.

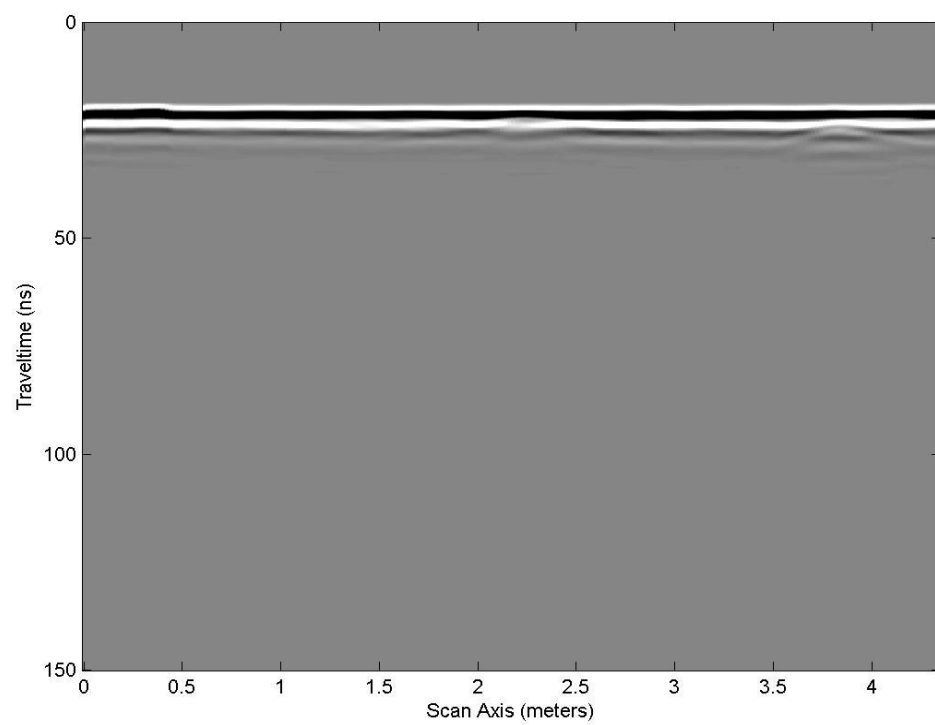


Σχήμα 1: Διάγραμμα Ροής Επεξεργασίας Δεδομένων Γεωραντάρ

Η επεξεργασία έλαβε χώρα με τη βοήθεια του προγράμματος MATGPR. Το MATGPR είναι ένα ελεύθερο λογισμικό το οποίο αναπτύχθηκε από τους Τζάνη Α. και Καφέτση Γ., μπορεί να χρησιμοποιηθεί μέσω του προγράμματος Matlab και μπορεί να τροποποιηθεί ανάλογα με τις απαιτήσεις του εκάστοτε χρήστη με πολύ μικρή προγραμματιστική γνώση.

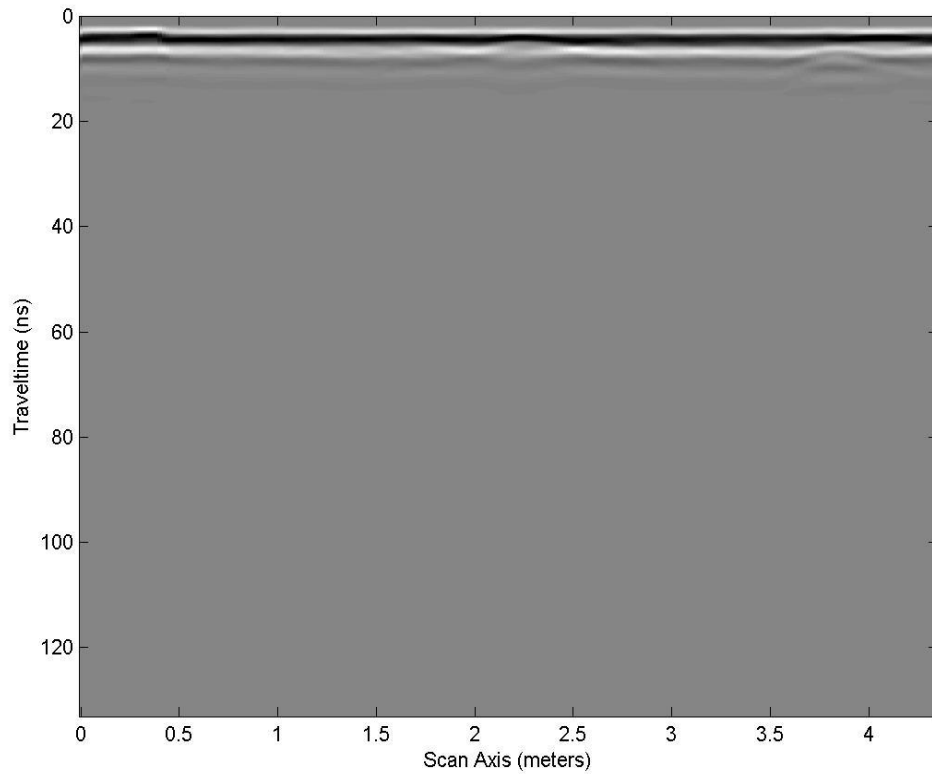
Παρακάτω θα παρουσιαστούν τα βήματα της επεξεργασίας που έγιναν σε όλες τις τομές γεωραντάρ με την τομή 3 της περιοχής μελέτης 1 στα 400 MHz.

Στο σχήμα 3.2 φαίνονται τα πρωτογενή ακατέργαστα δεδομένα.



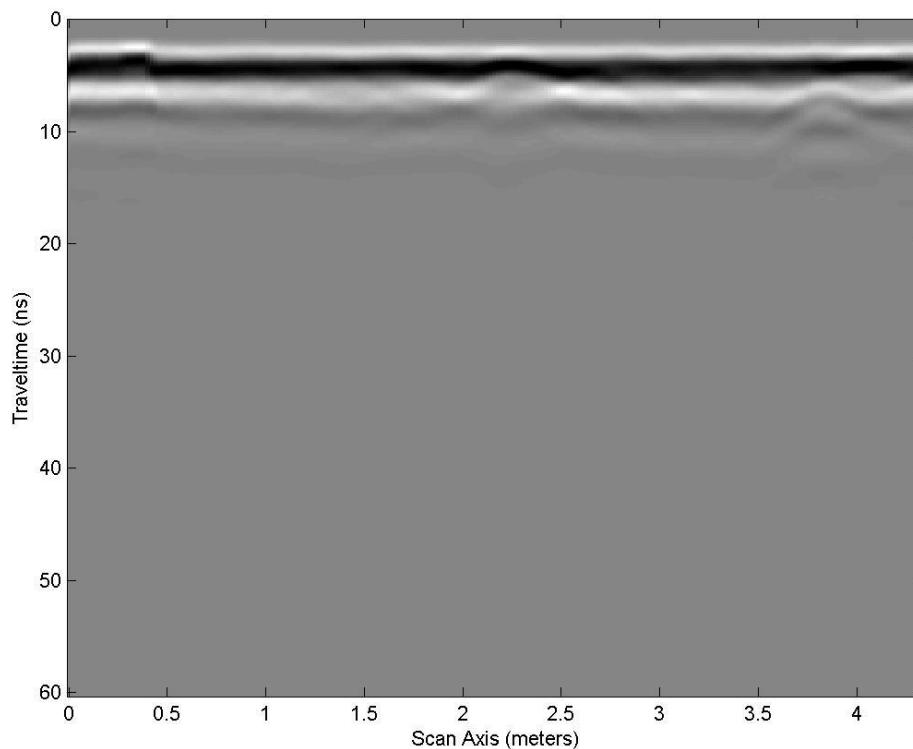
Σχήμα 3.2: Ακατέργαστα Δεδομένα

- a) Αρχικά, με την εντολή `Adjust_Signal_Position` ορίζεται η αρχή του χρόνου καταγραφής(`timezero`) στα 17 ns, καθώς σε μικρότερο χρόνο δεν υπάρχουν καταγραφές ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.



Σχήμα 3.3 : Δεδομένα μετά την χρήση της εντολής `Adjust Signal Position`

- b) Δεδομένου ότι στην συγκεκριμένη γεωφυσική μελέτη το βάθος διασκόπησης είναι σχεδόν επιφανειακό, ο χρόνος καταγραφής στα 130 ns δεν εξυπηρετεί τις ανάγκες της μελέτης. Έτσι, , ορίστηκε ο μέγιστος χρόνος απεικόνισης στα 60 ns με την εντολή Trim_Time_Window.

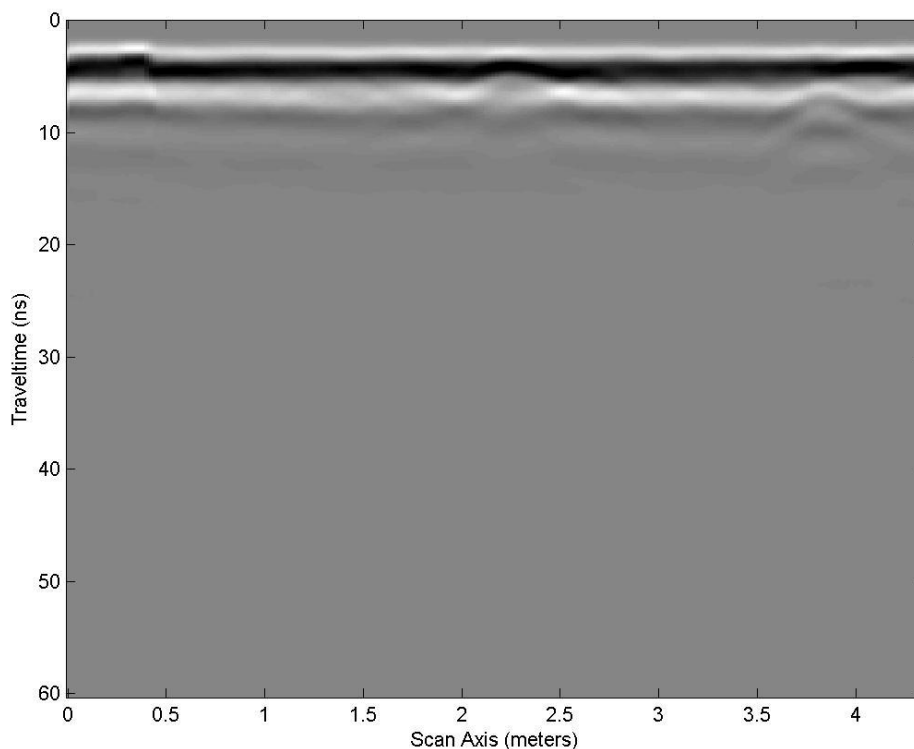


Σχήμα 3.4: Δεδομένα μετά την χρήση της εντολής Trim_Time_Window

- c) Το επόμενο βήμα είναι η εφαρμογή φίλτρων για την αφαίρεση τυχόν ανεπιθύμητων στοιχείων. Αρχικά εφαρμόστηκε το φίλτρο Dewow. Η διόρθωση Dewow αποτελεί μονοδιάστατο φίλτρο αποκοπής των χαμηλών συχνοτήτων από τα δεδομένα που εφαρμόζεται κατά τον άξονα του χρόνου για κάθε ίχνος χωριστά (χρονικό φίλτρο). Το φίλτρο διόρθωσης Dewow κάνει χρήση ενός τελεστή, του οποίου το μήκος M υπολογίζεται από τη σχέση :
- $$M = \frac{2}{f \Delta t},$$
- όπου f η συχνότητα εκπομπής (400 MHz) και Δt το διάστημα δειγματοληψίας (0.146 ns). Στη συνέχεια υπολογίζει το μέσο όρο των σημείων γύρω από το κεντρικό και τον αφαιρεί από τα αρχικά δεδομένα. Η

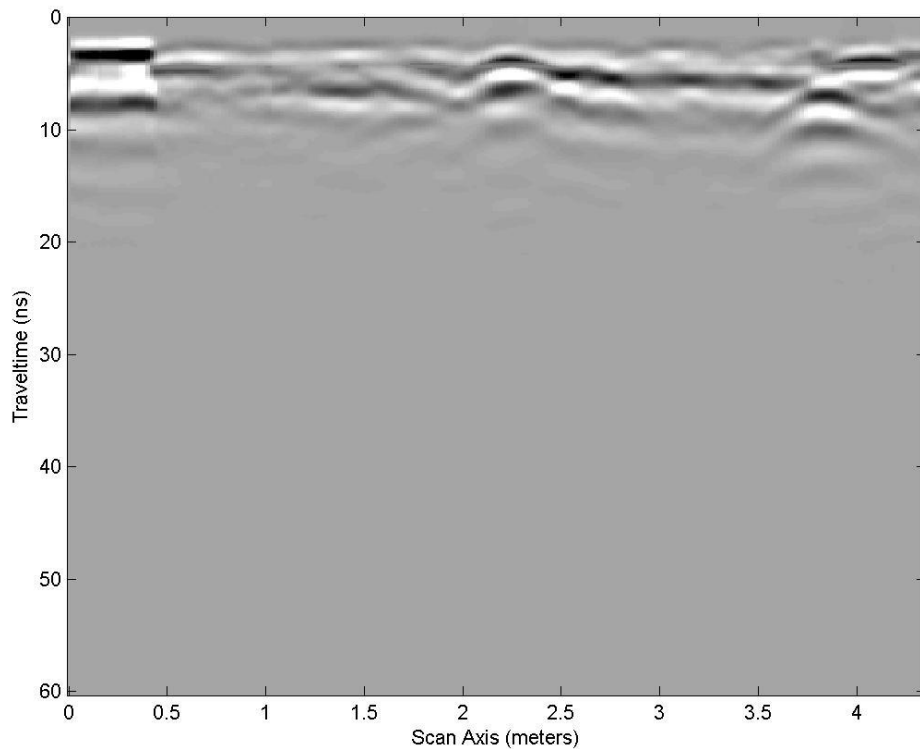
γενική μορφή του τελεστή που υπολογίζει τη μέση τιμή είναι: (Σπανουδάκης 2002)

$$\frac{1}{M} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}_{(M \times 1)}$$



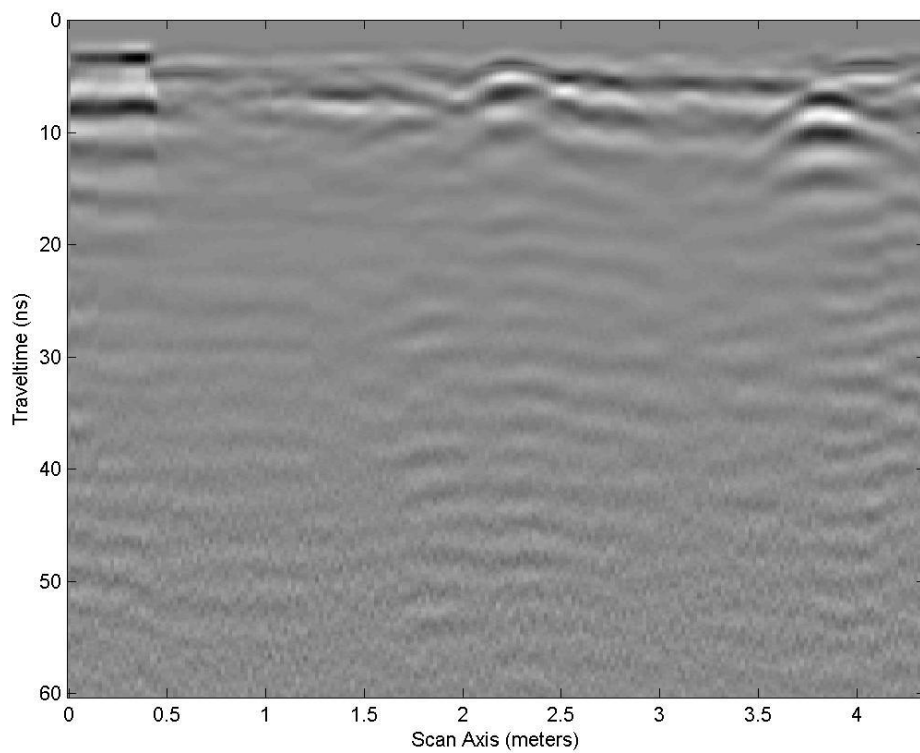
Σχήμα 3.5: Δεδομένα μετά τη χρήση του φίλτρου Dewow

- d) Στη συνέχεια εφαρμόστηκε το φίλτρο Remove Global Background, επειδή το σήμα που καταγράφεται δέχεται σημαντικές επιδράσεις από εξωτερικούς παράγοντες (ηλεκτροφόρα καλώδια, δέκτες κινητής τηλεφωνίας κ.ά.) με αποτέλεσμα να εμφανίζονται στα δεδομένα σήματα που μοιάζουν με οριζόντιους ανακλαστήρες. Το φίλτρο αποκοπής σημάτων υποβάθρου εφαρμόζεται για να εξαλείψει τα παραπάνω φαινόμενα. Λειτουργεί υπολογίζοντας ένα νέο ίχνος το οποίο αποτελεί το μέσο όρο όλων των ιχνών μιας τομής (χωρικό φίλτρο). Στη συνέχεια το νέο ίχνος αφαιρείται από κάθε ίχνος και προκύπτει μια νέα εικόνα απαλλαγμένη από τα παραπάνω φαινόμενα (Σπανουδάκης 2002).



Σχήμα 3.6: Δεδομένα μετά τη χρήση του φίλτρου Remove Global Background

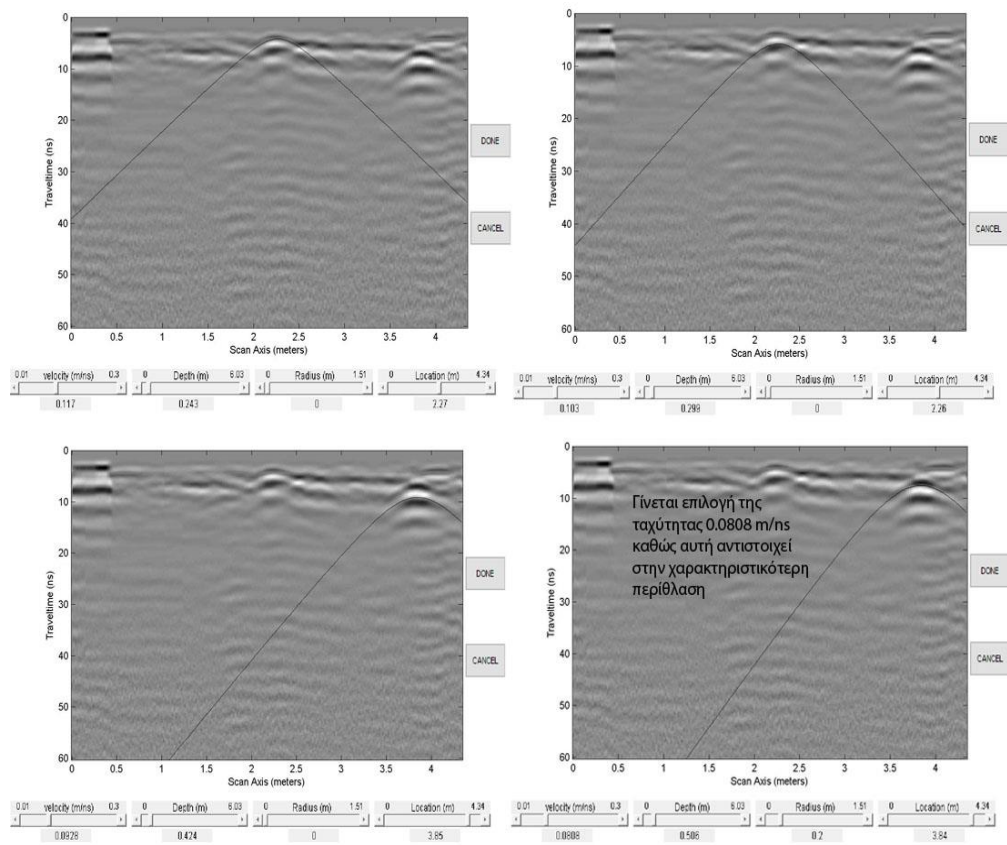
Το τελευταίο φίλτρο που εφαρμόστηκε είναι το Inverse Amplitude Decay. Το συγκεκριμένο φίλτρο πολλαπλασιάζει το αντίστροφο του μέσου όρου των ιχνών με το κάθε ίχνος ξεχωριστά. Έτσι μεγάλο πλάτος θα πολλαπλασιαστεί με μικρό αριθμό, ενώ μικρό πλάτος θα πολλαπλασιαστεί με μεγάλο. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τα δεδομένα μετά από αυτή την επεξεργασία να είναι πιο εξομαλυμένα.



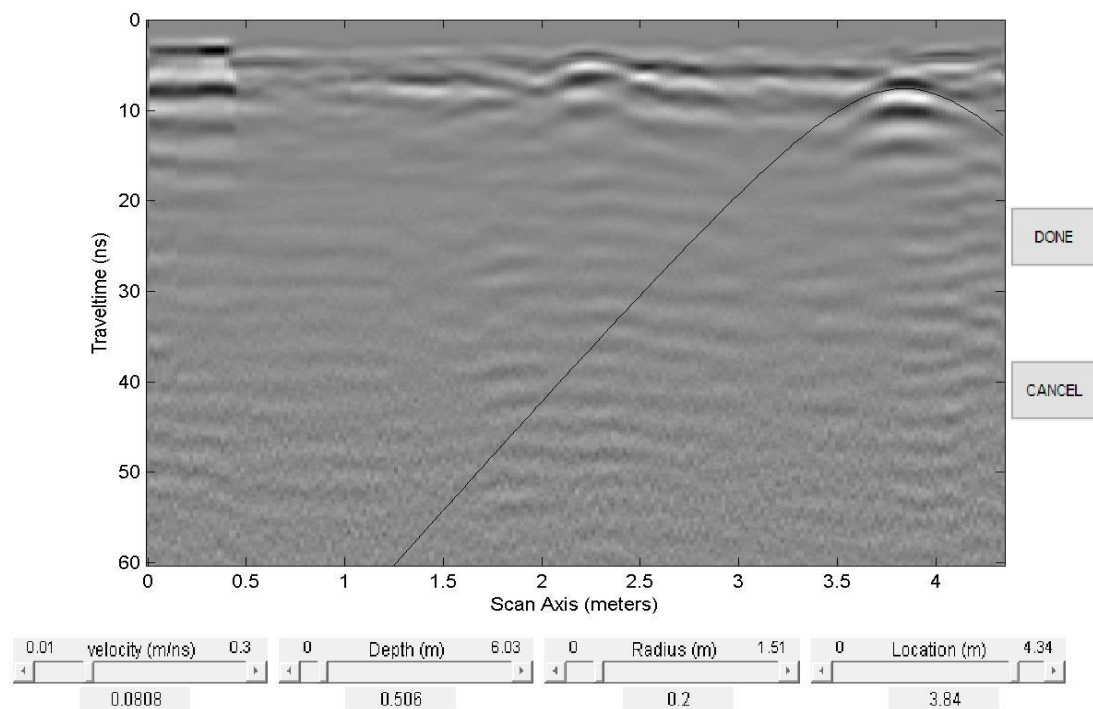
Σχήμα 3.7: Δεδομένα μετά τη χρήση του φίλτρου Inverse_Amplitude_Decay

- e) Μετά την εφαρμογή των φίλτρων, πρέπει να υπολογιστεί η ταχύτητα διάδοσης των κυμάτων. Προκειμένου να συμβεί αυτό, εφαρμόζεται η εντολή Fit_Diffraction_Hyperbola. Σκοπός αυτού του σταδίου είναι να βρεθεί η κατάλληλη ταχύτητα. Η ταχύτητα αυτή επιλέγεται βάση της καμπύλης που αντιστοιχεί στην χαρακτηριστικότερη περίθλαση. Η γνώση αυτής της

ταχύτητας είναι απαραίτητη για το τελικό στάδιο της επεξεργασίας.

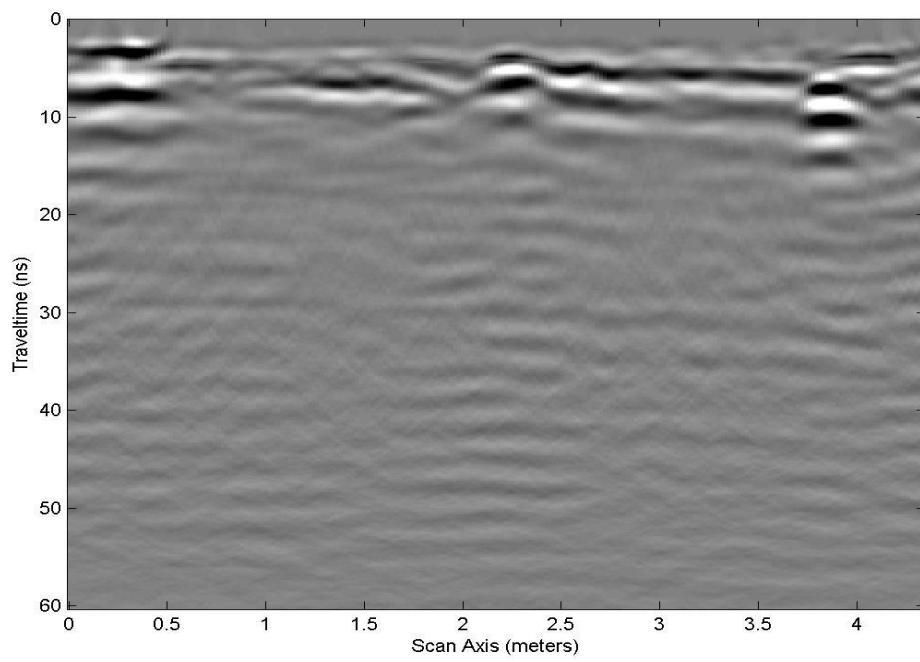


Σχήμα 3.8: Panel Επιλογής Ταχύτητας



Σχήμα 3.9: Fit Diffraction Hyperbola $v=0.0808$ m/ns

- f) Τέλος, έχοντας ορίσει την κατάλληλη ταχύτητα διάδοσης γίνεται χρήση της εντολής 1D FK Migration, δηλαδή τη χωροθέτηση στο χώρο συχνοτήτων κυματαριθμών. Με την χωροθέτηση τα περιθλώμενα κύματα συγκεντρώνονται σε ένα σημείο της τομής και διορθώνεται η κλίση του ανακλαστήρα. Τέλος, γίνεται λήψη της τελικής επεξεργασμένης τομής γεωραντάρ, η οποία μπορεί να ερμηνευθεί.



Σχήμα 3.10: Τελικά Επεξεργασμένα Δεδομένα

g) Μιγαδικά Χαρακτηριστικά

Οι μετασχηματισμοί δεδομένων από μια μορφή σε μια άλλη είναι συνηθισμένοι στην ανάλυση σημάτων και έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορες τεχνικές για την εξαγωγή σημαντικών πληροφοριών από χρονοσειρές (σεισμικά δεδομένα, δεδομένα γεωραντάρ κλπ.). Αποτέλεσμα αυτού του τρόπου παρουσίασης δεδομένων είναι η εξαγωγή πληροφοριών και συμπερασμάτων που διαφορετικά δε θα ήταν αντιληπτά.

Η σύνθετη ή μιγαδική ανάλυση σήματος αντιμετωπίζει ένα ίχνος $x(t)$ σαν το πραγματικό μέρος ενός αναλυτικού σήματος το οποίο δίδεται από τη σχέση:

$$f(t) = x(t) + jx^*(t)$$

Αν θεωρηθεί ότι η $x(t)$ μπορεί να εκφραστεί από χρονικά μεταβαλλόμενο πλάτος $E(t)$ και μια χρονικά μεταβαλλόμενη φάση $\theta(t)$ δηλαδή $x(t) = E(t)\cos\theta(t)$ τότε η φασικά μετατοπισμένη κατά 90° κυματομορφή είναι $x^*(t) = E(t)\sin\theta(t)$ και η σύνθετη κυματομορφή είναι:

$$f(t) = x(t) + jx^*(t) = E(t)[\cos\theta(t) + j\sin\theta(t)] = E(t)e^{j\theta(t)}$$

Αν τα $f(t)$ και $f^*(t)$ είναι γνωστά τότε η σχέση μπορεί να επιλυθεί ως προς $E(t)$ και $\theta(t)$:

$$E(t) = \sqrt{x^2(t) + x^{*2}(t)}$$

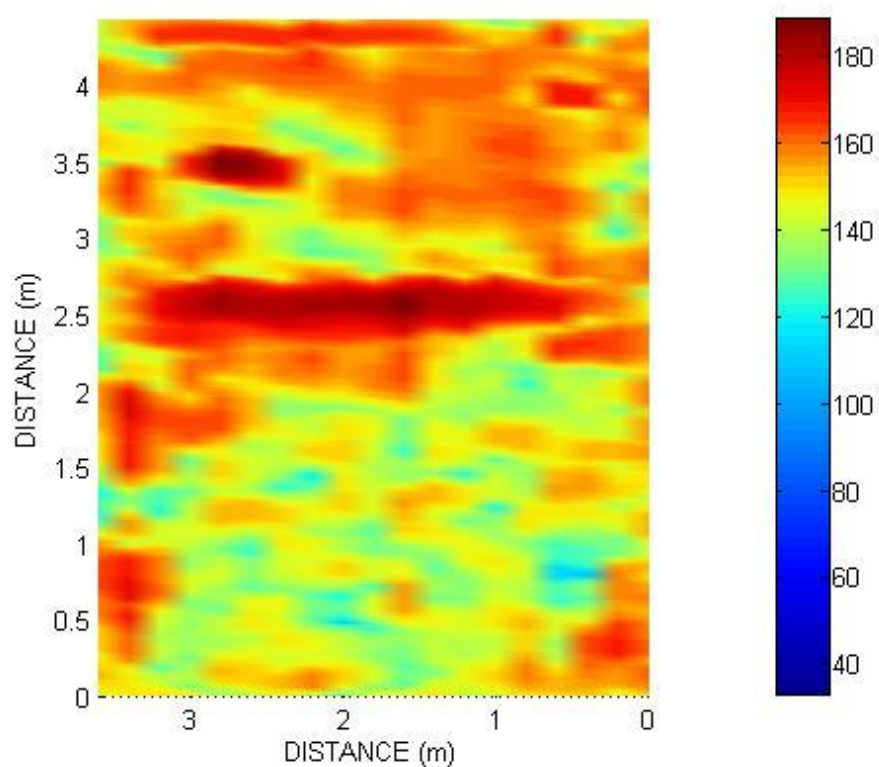
$$\theta(t) = \tan^{-1}[x^*(t) / x(t)]$$

Το $E(t)$ είναι το στιγμιαίο πλάτος ενώ το $\theta(t)$ η στιγμιαία φάση (Σπανουδάκης 2002).

Το στιγμιαίο πλάτος (Instantaneous envelope) αποτελεί ένα βασικό μιγαδικό χαρακτηριστικό που συμβάλλει στον εντοπισμό πλευρικών μεταβολών στους ανακλαστήρες.

Στον τρισδιάστατο όγκο δεδομένων εφαρμόστηκε κυλιόμενο παράθυρο μήκους 1 ns το οποίο ισούται με 7 δείγματα του γεωραντάρ για τον υπολογισμό της μέγιστης τιμής εντός αυτού. Στη συνέχεια απεικονίστηκαν οριζόντιες τομές κάθε 0,5 ns

Στο σχήμα 3.10 παρουσιάζεται η οριζόντια τομή της περιοχής μελέτης 1 με κεραία 400 MHz όπως αυτή προέκυψε από το `instantaneous_envelope` σε κλίμακα dB, δηλαδή το $\log_{10}(E)$.



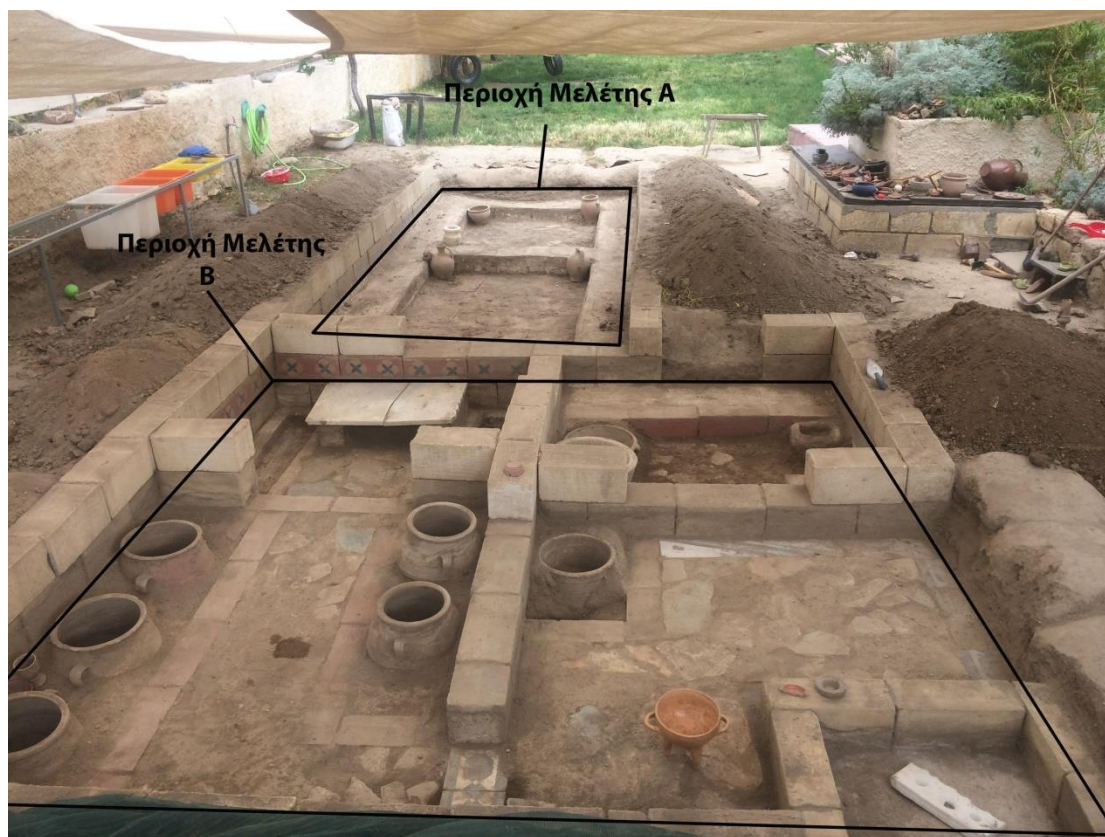
Σχήμα 3.11: Οριζόντια Τομή 400 MHz 6ns

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ : ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΓΕΩΡΑΝΤΑΡ

Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται η ερμηνεία των τομών γεωραντάρ που προέκυψαν από την παραπάνω επεξεργασία, καθώς επίσης και των οριζόντιων τομών που κατασκευάστηκαν για κάθε περιοχή μελέτης και κάθε συχνότητα ξεχωριστά. Η ερμηνεία αυτή θα γίνει με το συνδυασμό των τομών γεωραντάρ, των οριζόντιων τομών αλλά και της προϋπάρχουσας γνώσης των θαμμένων στόχων στην περιοχή της διασκόπησης. Στις εικόνες που ακολουθούν οι ανωμαλίες που εντοπίστηκαν υποδεικνύονται με μαύρο περίγραμμα και δίπλα τους βρίσκεται επεξηγηματικό σημείωμα σχετικά με το είδος της θαμμένης δομής .

Ερμηνεία δεδομένων



Εικόνα 4.1: Περιοχή Διασκόπησης

A) Περιοχή 1 με κεραία συχνότητας 400 MHz

Το σχήμα 4.1 αποτελεί την οριζόντια τομή της περιοχής μελέτης 1 στα 6 ns με κεραία 400 MHz. Σε αυτήν παρατηρούνται ξεκάθαρα κάποιες ανωμαλίες οι οποίες έχουν αναγνωριστεί. Χαρακτηριστικά αναφέρονται ένας τοίχος στο ύψος των 2.5 m που

εντοπίζεται σε όλο το πλάτος της περιοχής μελέτης, 4 πιθάρια ,και ένα περιμετρικό τοίχιο που κυκλώνει όλη την περιοχή μελέτης το οποίο παρότι στην οριζόντια τομή διακρίνεται σε λίγα μέρη, φαίνεται ξεκάθαρα στις πλειοψηφία των τομών του γεωραντάρ.

Παρακάτω παρατίθενται ενδεικτικά κάποιες από τις τομές του γεωραντάρ ερμηνευμένες, ενώ μπορούν να βρεθούν στο σύνολό τους στο παράρτημα που βρίσκεται στο τέλος της παρούσας διπλωματικής.

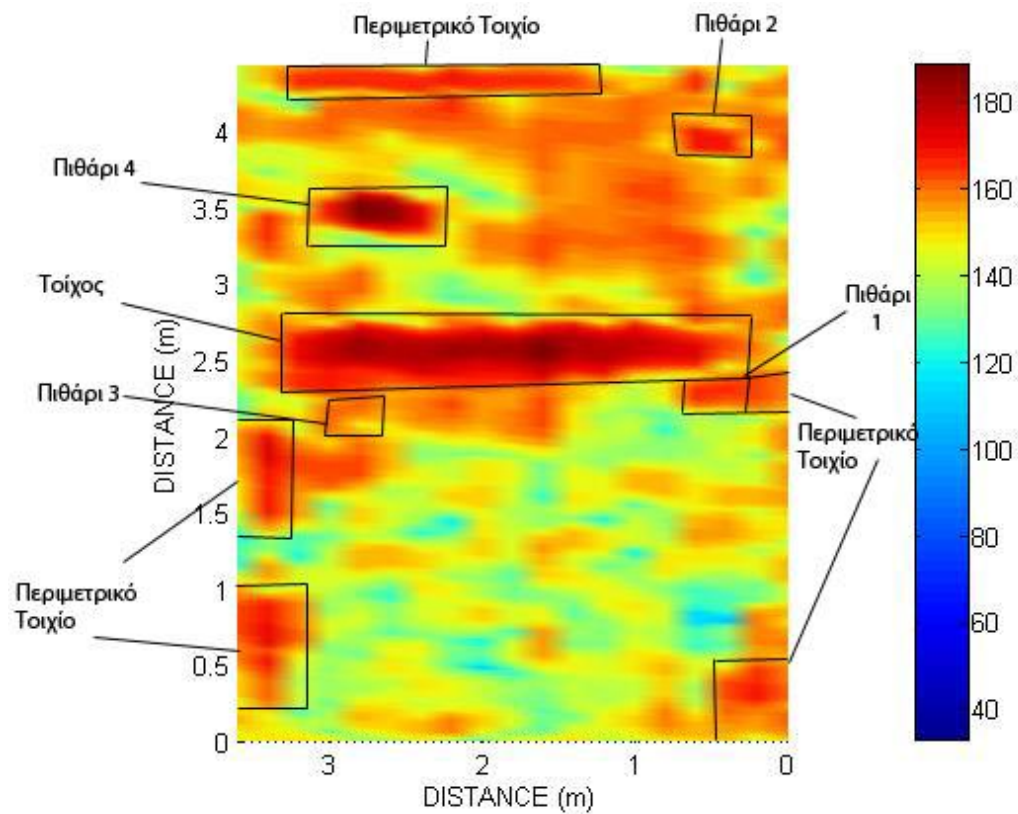
Στη συνέχεια παρατίθεται σκαρίφημα με τις γραμμές μελέτης στην περιοχή μελέτης 1 στο σχήμα 4.6

Στη τομή 3 (σχήμα 4.2) διακρίνονται ανακλάσεις που οφείλονται στην ύπαρξη του περιμετρικού τοιχίου (0-0.5m,4-8ns), στο πιθάρι 1 (2.2-2.4m,5-7 ns), στον τοίχο (2.5-2.7m,6-8 ns), και στο πιθάρι 2 (3.8-4m,8-11 ns)

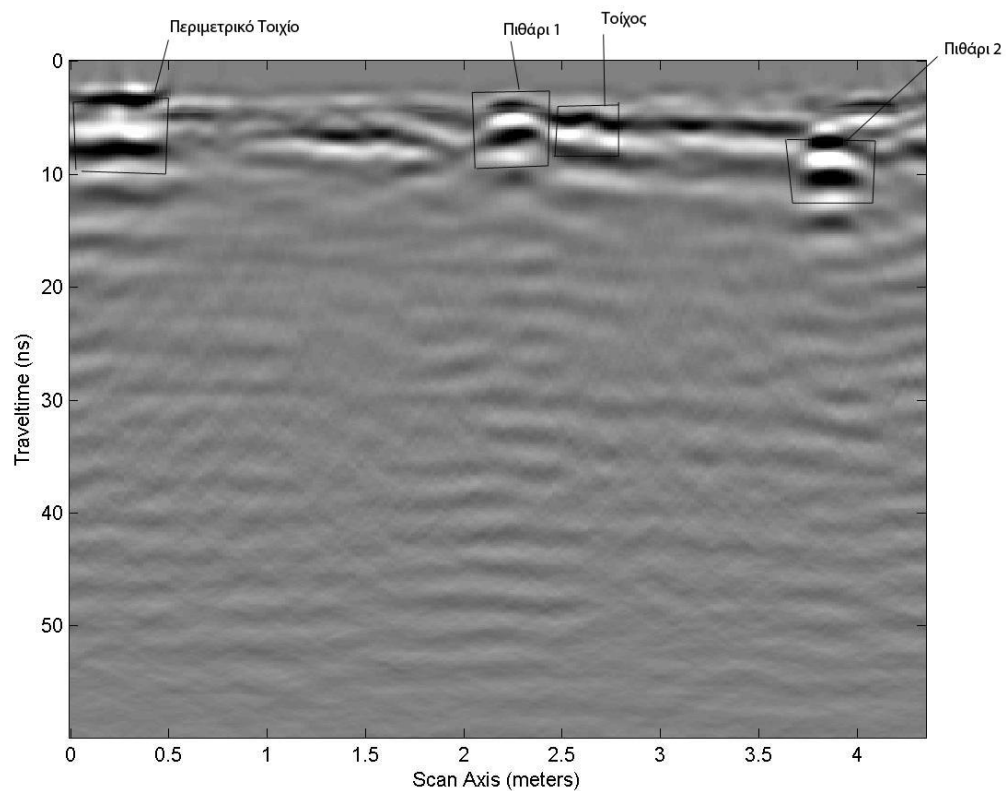
Στη τομή 12 (σχήμα 4.3) διακρίνονται ανακλάσεις που οφείλονται στον τοίχο (2-2.8m,5-9 ns) και στο περιμετρικό τοίχιο (4-4.2m,5-8 ns).

Στη τομή 13 (σχήμα 4.4) διακρίνονται ανακλάσεις που οφείλονται στον τοίχο(2.1-2.7m,5-8 ns), στο πιθάρι 4 (3.3-3.5m,6-9 ns) και στο περιμετρικό τοίχιο (4.1-4.3m,5-7 ns)

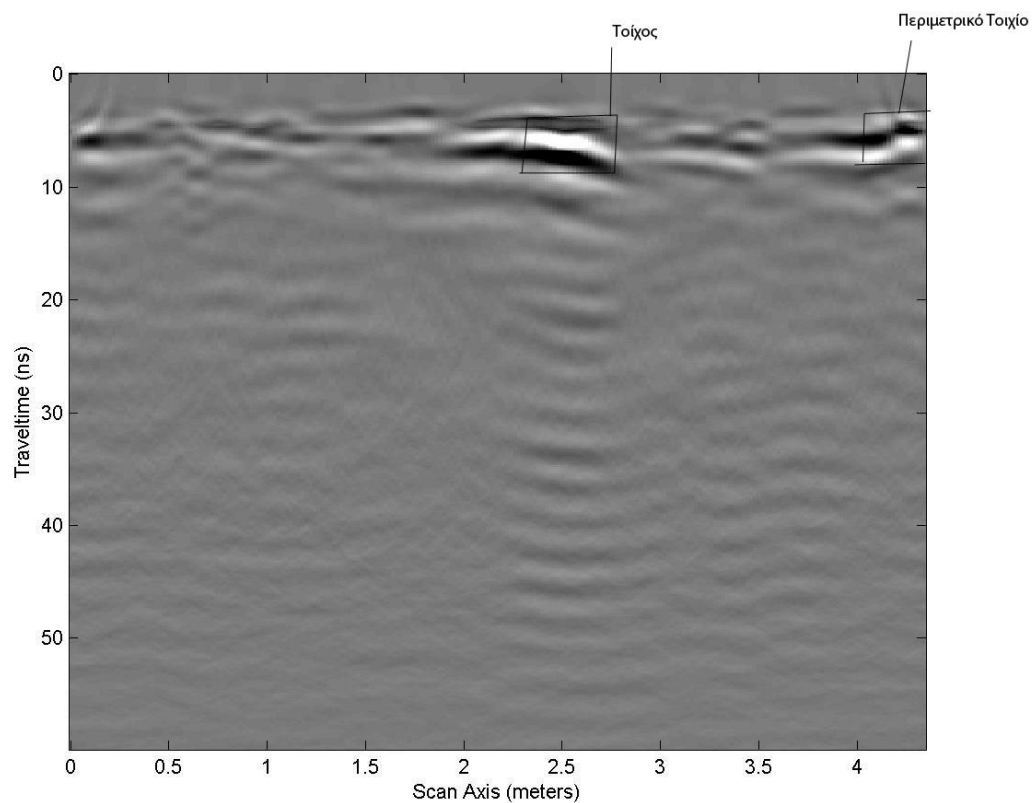
Στη τομή 16 (σχήμα 4.5) παρατηρούνται ανακλάσεις που οφείλονται στο πιθάρι 3 (1.6-2m,5-7 ns), στον τοίχο (2.1-2.6m,5-8 ns),στο πιθάρι 4 (3.4-3.5m,6-9 ns) και στο περιμετρικό τοίχιο (2.7-3.8m,5-6 ns)



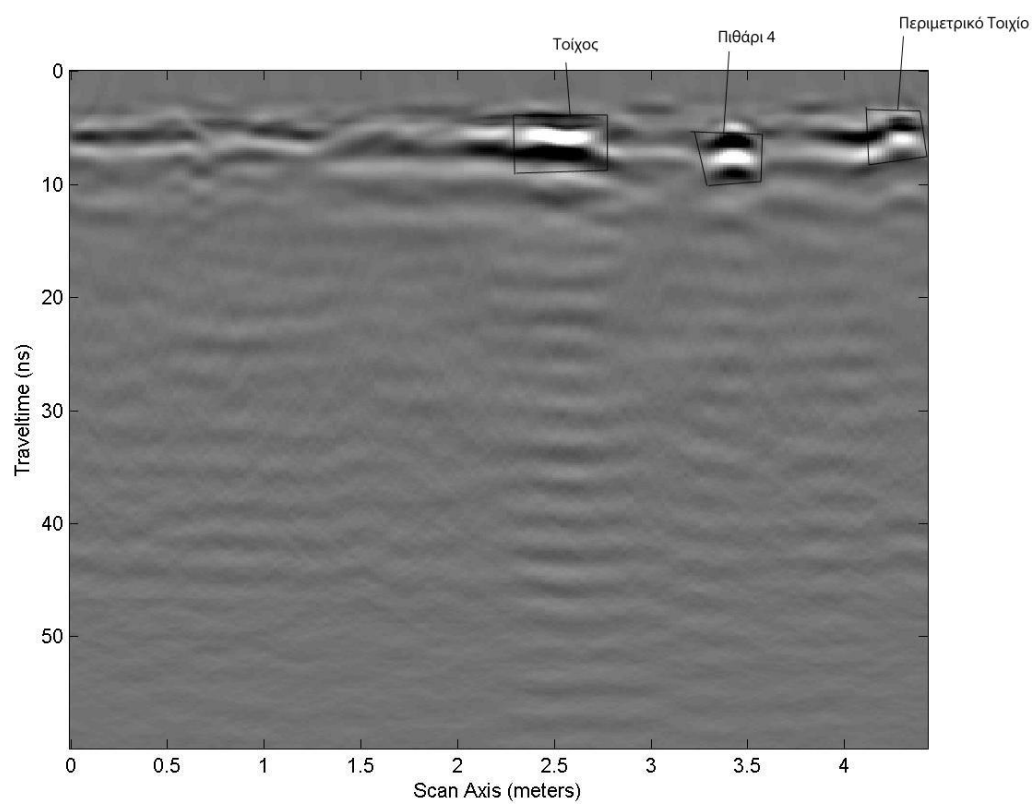
Σχήμα 4.1:Ερμηνευμένη Οριζόντια Τομή Grid 1 400 MHz 6ns



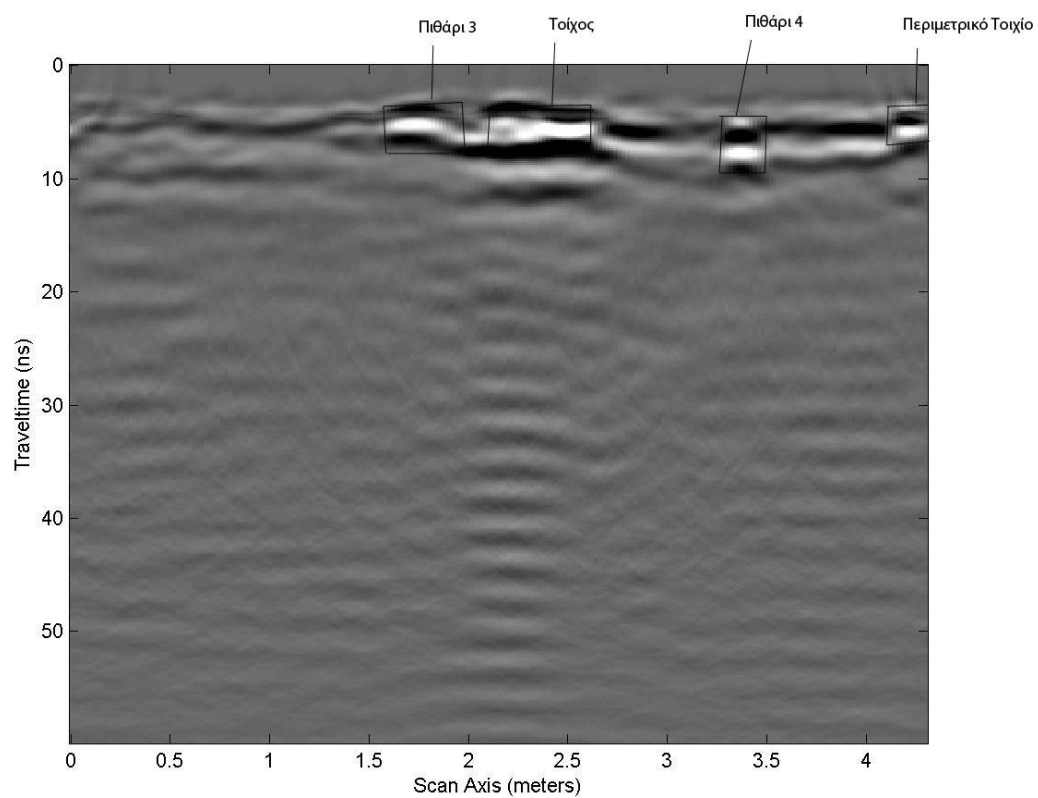
Σχήμα 4.2: Τομή 3 από Δύση προς Ανατολή Διακρίνονται οι ανακλάσεις από : Περιμετρικό Τοίχιο, Πιθάρι 1, Τοίχος, Πιθάρι



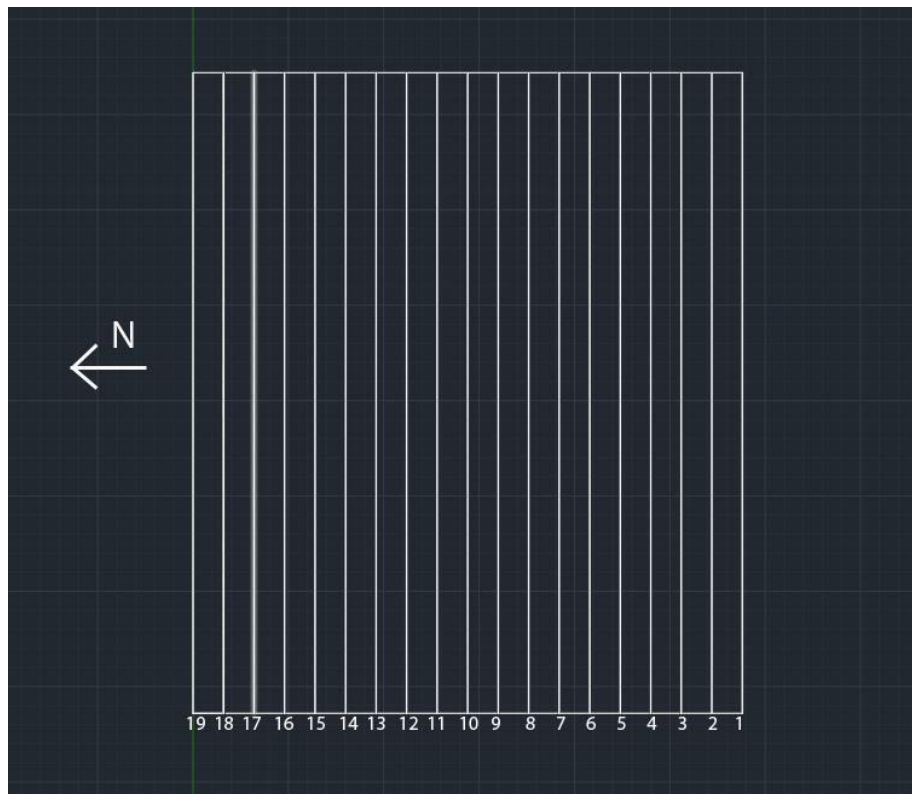
Σχήμα 4.3: Τομή 12 από Δύση προς Ανατολή Διακρίνονται οι ανακλάσεις από : Τοίχος, Περιμετρικό Τοίχιο



Σχήμα 4.4: Τομή 13 από Δύση προς Ανατολή Διακρίνονται οι ανακλάσεις από : Τοίχος, Πιθάρι 4, Περιμετρικό Τοίχιο



Σχήμα 4.5: Τομή 16 από Δύση προς Ανατολή Διακρίνονται οι ανακλάσεις από : Πιθάρι 3, Τοίχος, Πιθάρι 4, Περιμετρικό Τοίχιο



Σχήμα 4.6 : Σκαρίφημα Γραμμών Μελέτης στην περιοχή μελέτης 1. Οι γραμμές μελέτης διασκοπήθηκαν με κατεύθυνση από Δύση προς Ανατολή

Β)Περιοχή 1 με κεραία συχνότητας 900 MHz

Το σχήμα 4.7 αποτελεί την οριζόντια τομή της περιοχής 1 στα 4 ns, αυτή τη φορά με κεραία 900 MHz. Σε αυτή την τομή ο τοίχος φαίνεται ξεκάθαρα όπως και στα 400 MHz. Τα πιθάρια 1,2 και το πιθάρι 4 στο ύψος των 3.5m. Τέλος, το πιθάρι 3 διαφαίνεται αμυδρά, ενώ το περιμετρικό τοίχιο φαίνεται σε κάποια μόνο σημεία, παρόλο που διακρίνονται ξεκάθαρα στις τομές του γεωραντάρ.

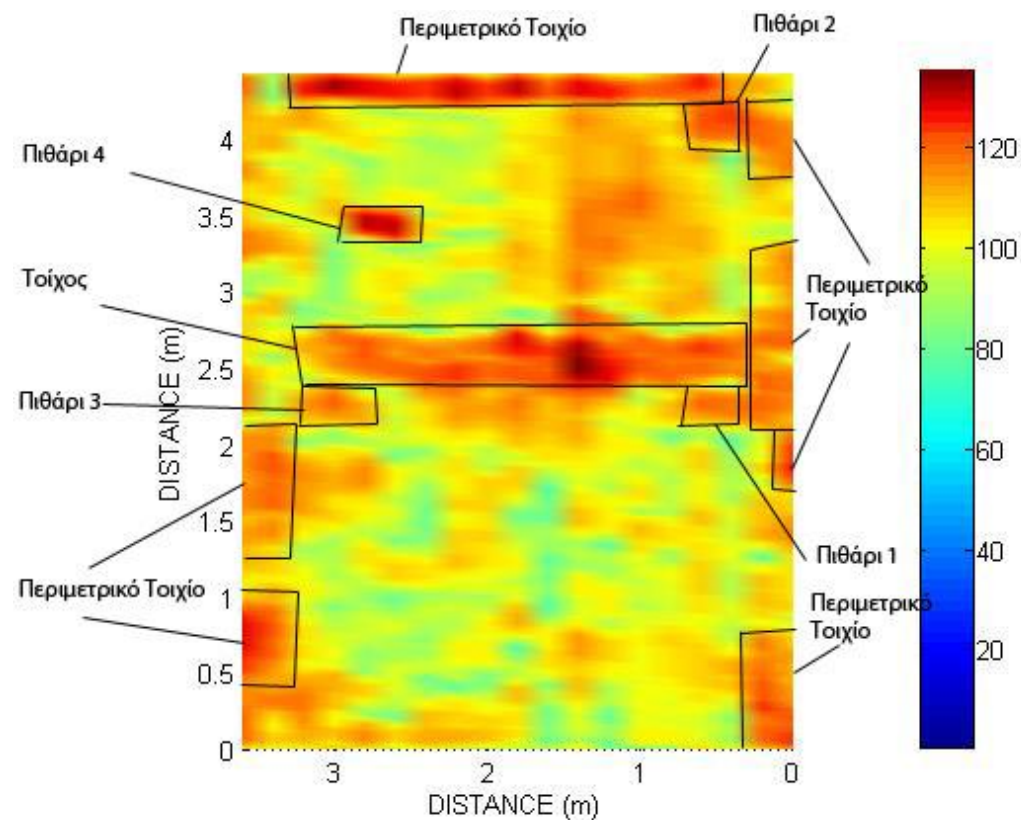
Παρακάτω παρατίθενται κάποιες από τις χαρακτηριστικότερες τομές του γεωραντάρ στην περιοχή 1 με κεραία 900 MHz.

Στη τομή 1(σχήμα 4.8) διακρίνονται ανακλάσεις που οφείλονται στο περιμετρικό τοίχιο (0-0.7m,9-11 ns), στο πιθάρι 1(1.4-1.6m,9-11ns), στον τοίχο (2-2.6m,9-11ns) και σε πλίνθο(2.9-3.2m,10-12ns)

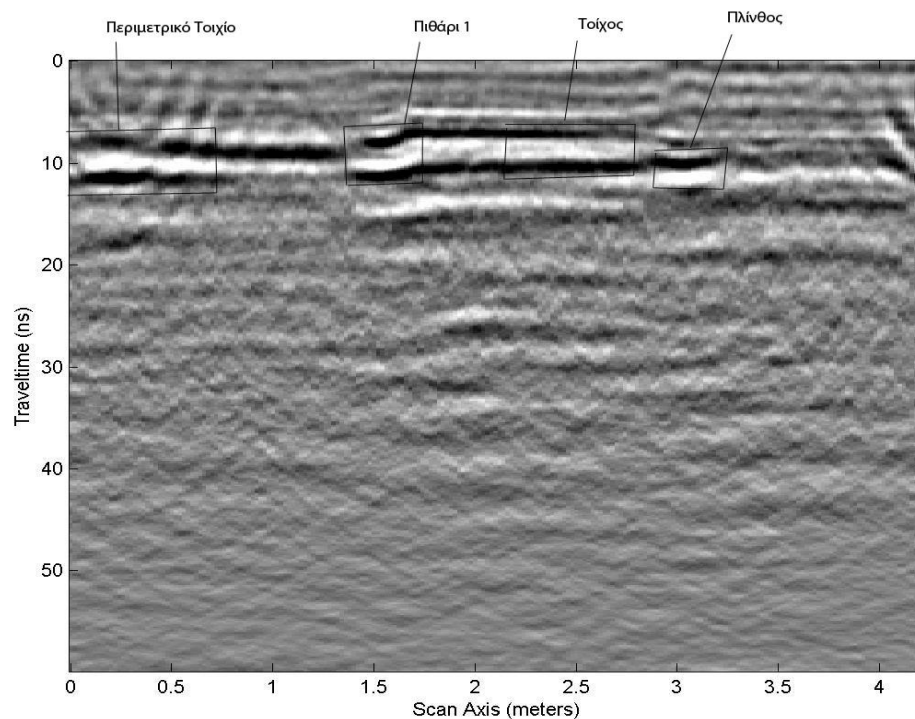
Στη τομή 3 (σχήμα 4.9) διακρίνονται ανακλάσεις που οφείλονται στο περιμετρικό τοίχιο (0.3-0.6m,3-6 ns και 3.8-4.2m,3-6 ns) στο πιθάρι 1(2-2.2m,3-6 ns), στον τοίχο (2.3-2.7m,4-7 ns) και στο πιθάρι 2 (3.7-3.8m,7-8 ns)

Στη τομή 13 (σχήμα 4.10) διακρίνονται ανακλάσεις που οφείλονται στο περιμετρικό τοίχιο (0-0.5m,5-9 ns και 4.1-4.3m,4-6 ns), στον τοίχο (2.3-2.6m,4-7 ns), και στο πιθάρι 4(3.3-3.5m,5-7 ns)

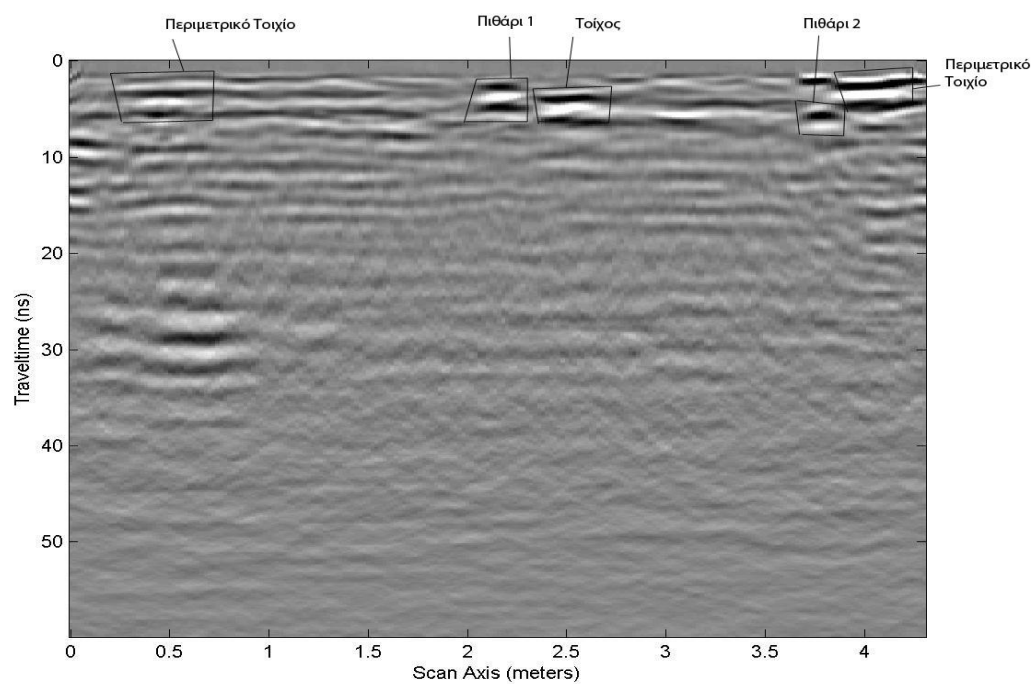
Στη τομή 16 (σχήμα 4.11) διακρίνονται ανακλάσεις που οφείλονται στο περιμετρικό τοίχιο (0.1-0.5m,3-7 ns και 4.1-4.2m,4-7 ns),στο πιθάρι 3(2.1-2.3m,4-7 ns) και στον τοίχο(2.4-2.6m,5-8 ns)



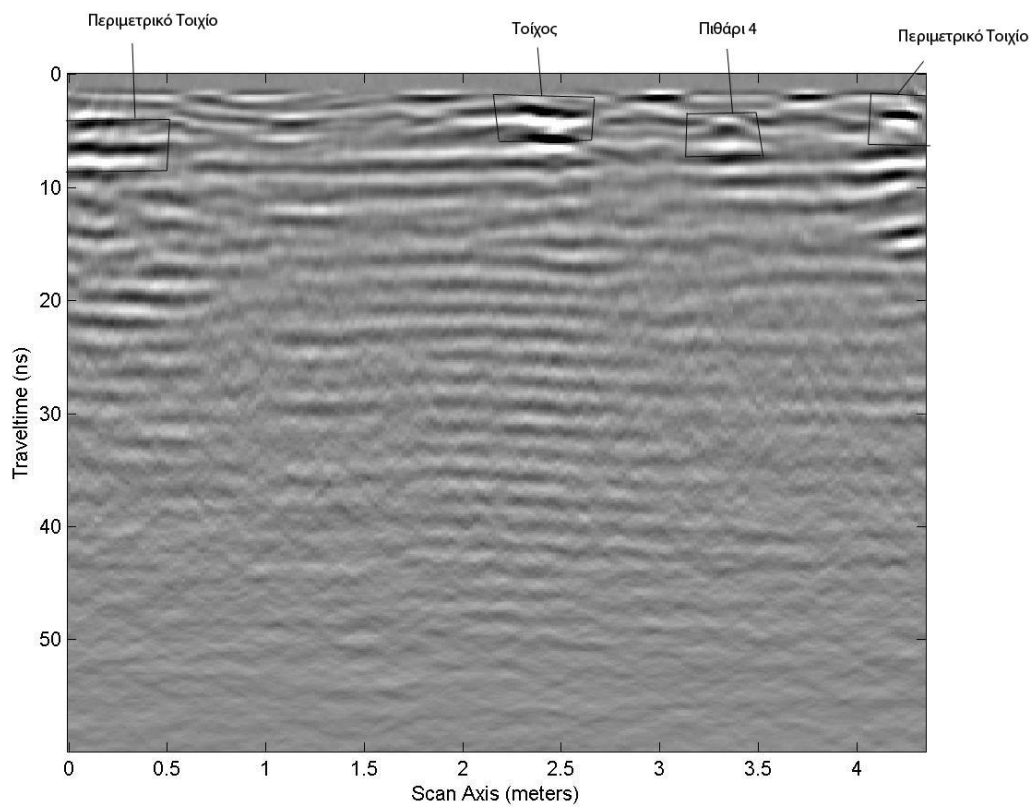
Σχήμα 4.7 : Ερμηνευμένη Οριζόντια Τομή G1 900MHz 4ns



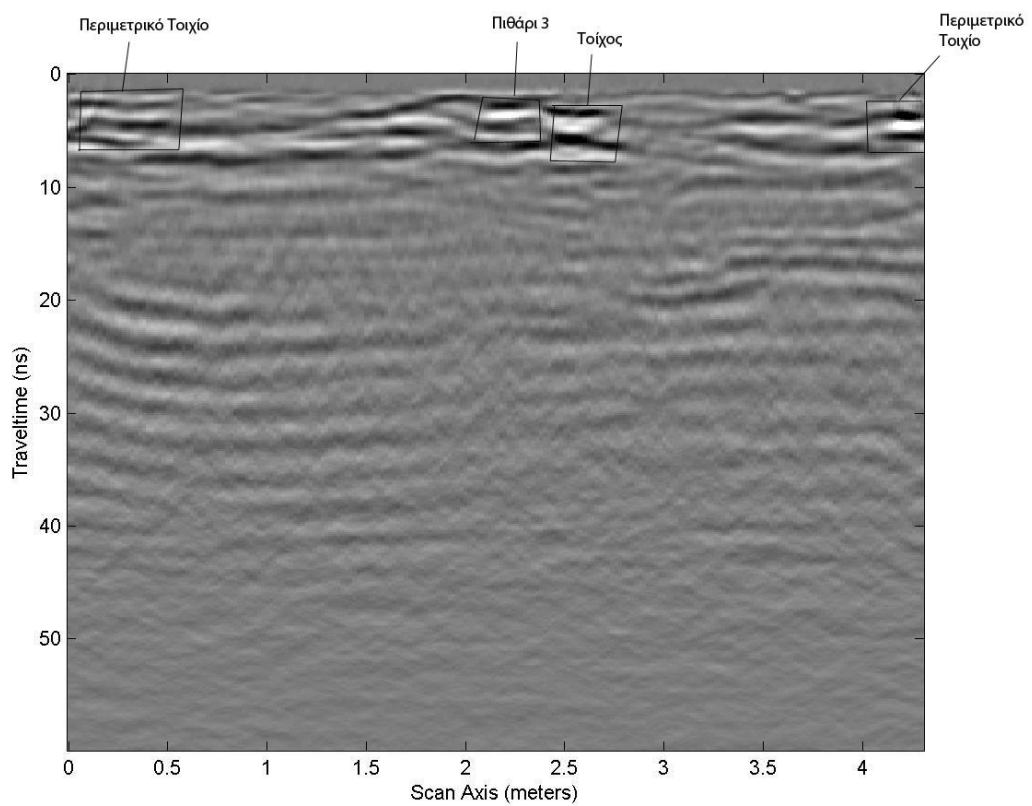
Σχήμα 4.8:Τομή 1 από Δύση προς Ανατολή Διακρίνονται οι ανακλάσεις από: Περιμετρικό Τοίχιο,Πιθάρι 1 ,Τοίχος,Πλίνθος



Σχήμα 4.9:Τομή 3 από Δύση προς Ανατολή Διακρίνονται οι ανακλάσεις από : Περιμετρικό Τοίχιο, Πιθάρι 1, Τοίχος, Πιθάρι 2



Σχήμα 4.10: Τομή 13 από Δύση προς Ανατολή Διακρίνονται οι ανακλάσεις από : Περιμετρικό Τοίχιο, Τοίχος, Πιθάρι 4



Σχήμα 4.11: Τομή 16 από Δύση προς Ανατολή Διακρίνονται οι ανακλάσεις από : Περιμετρικό Τοίχιο, Πιθάρι 3, Τοίχος

Γ) Περιοχή 2 με κεραία συχνότητας 900 MHz

Το σχήμα 4.12 αποτελεί την οριζόντια τομή της περιοχής 2 στα 4 ns με κεραία 900 MHz . Εδώ διακρίνεται ξεκάθαρα ένας φούρνος πλάτους 1 m, ένα τοιχίο περίπου στη μέση της περιοχής μελέτης, ένα ακόμα τοιχίο στη μέση του πρώτου «διαδρόμου» και ένα σεντούκι στο τέλος του δεύτερου «διαδρόμου». Τέλος διαφαίνονται αμυδρά τα πιθάρια 7,8,9 ενώ υπάρχουν άλλα δύο πιθάρια (5,6) τα οποία δεν έχουν σημειωθεί εδώ καθώς δεν φαίνονται. Τα προαναφερθέντα πιθάρια φαίνονται στις παρακάτω τομές γεωραντάρ καθώς και τα υπόλοιπα στοιχεία που αναφέρθηκαν.

Παρακάτω παρατίθενται κάποιες από τις χαρακτηριστικότερες τομές του γεωραντάρ για την περιοχή 2 με κεραία 900 MHz

Στη συνέχεια παρατίθεται σκαρίφημα με τις γραμμές μελέτης στην περιοχή μελέτης 2 στο σχήμα 4.19

Στη τομή 2 (σχήμα 4.13) διακρίνονται ανακλάσεις που οφείλονται στην ύπαρξη του φούρνου (0-0.8m,3-5 ns)

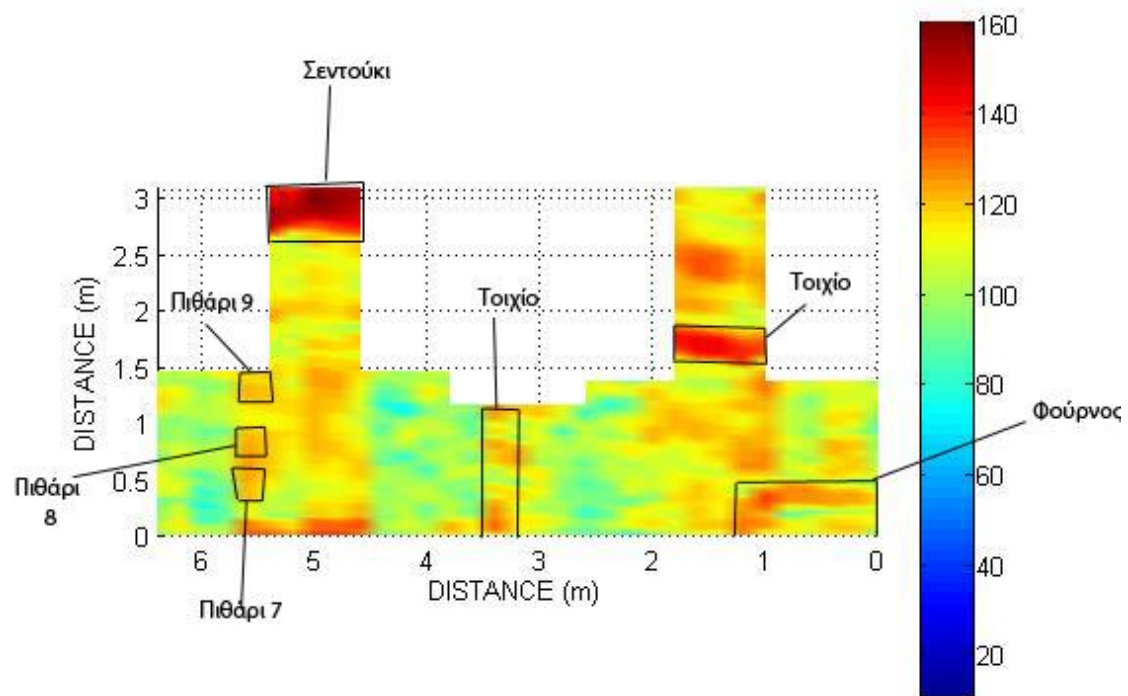
Στη τομή 6 (σχήμα 4.14) διακρίνονται ανακλάσεις που οφείλονται στο φούρνο (0-0.5m,3-5 ns), στο τοιχίο (1.5-1.7m,3-7 ns) και στο λιθόριπτο δάπεδο(2.8-3m,5-7 ns)

Στη τομή 18 (σχήμα 4.15) διακρίνονται ανακλάσεις που οφείλονται στο τοιχίο (0-1.2m,3-7 ns)

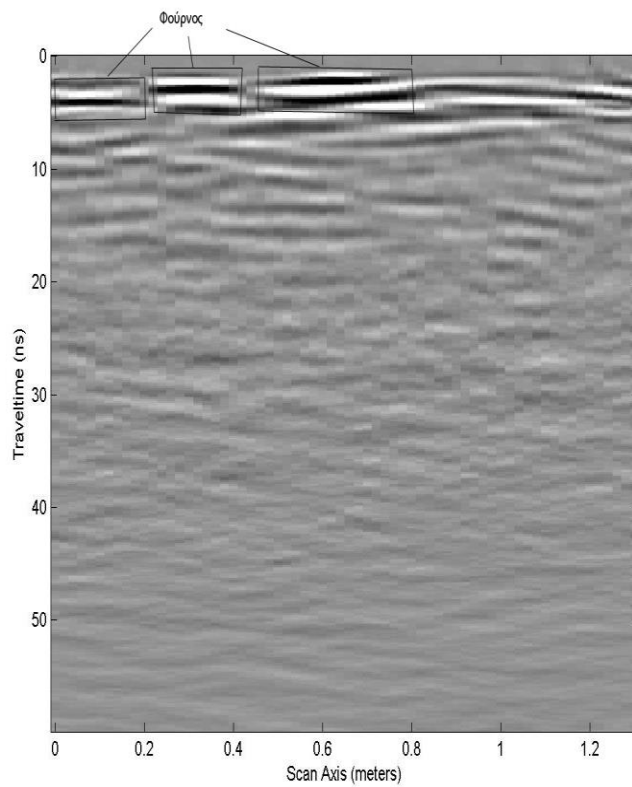
Στη τομή 21 (σχήμα 4.16) διακρίνονται ανακλάσεις που οφείλονται στο πιθάρι 5(0.8-1m,5-9 ns) και στο πιθάρι 6(1.2-1.4m,6-9 ns)

Στη τομή 24 (σχήμα 4.17)) διακρίνονται ανακλάσεις που οφείλονται στο τοιχίο (1.6-2.1m,3-4 ns) και στο σεντούκι (2.7-3m,3-7 ns)

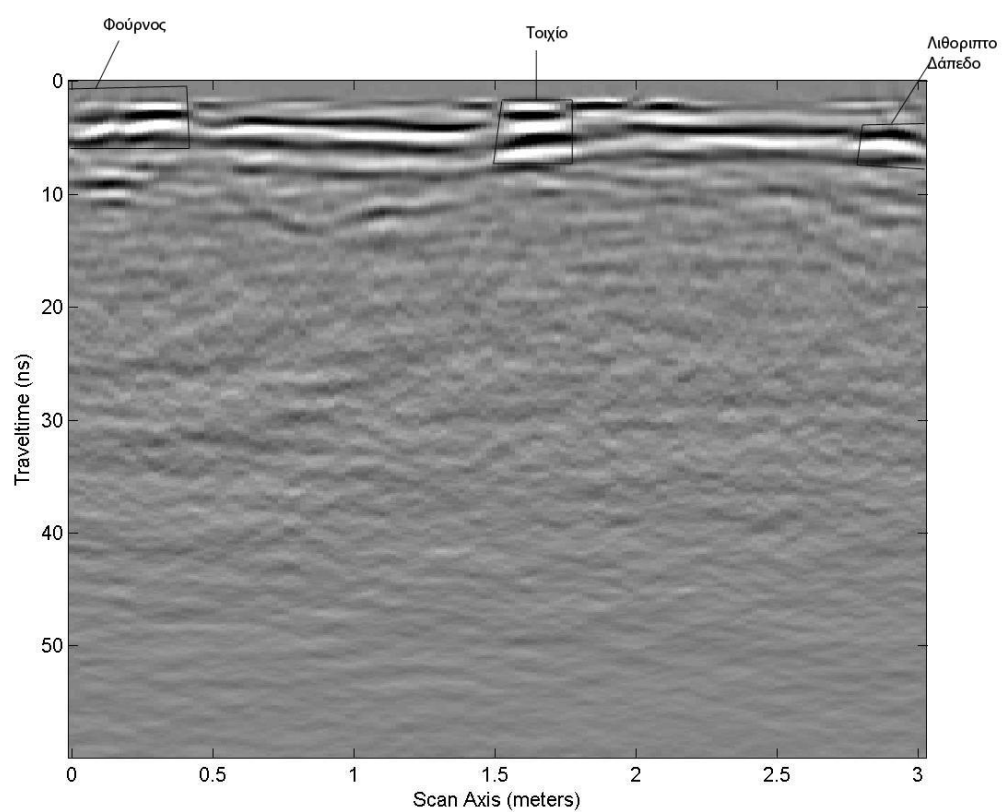
Στη τομή 30 (σχήμα 4.18) διακρίνονται ανακλάσεις που οφείλονται στο πιθάρι 7(0.4-0.5m,3-4 ns) και στο πιθάρι 9(1.3-1.4m,7-8 ns)



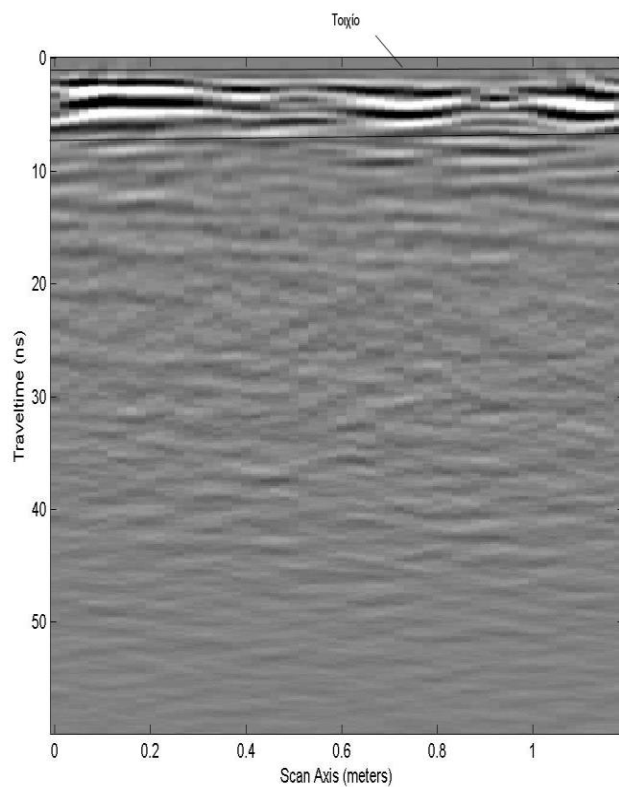
Σχήμα 4.12: Ερμηνευμένη Οριζόντια Τομή Grid 2 900 MHz 4ns



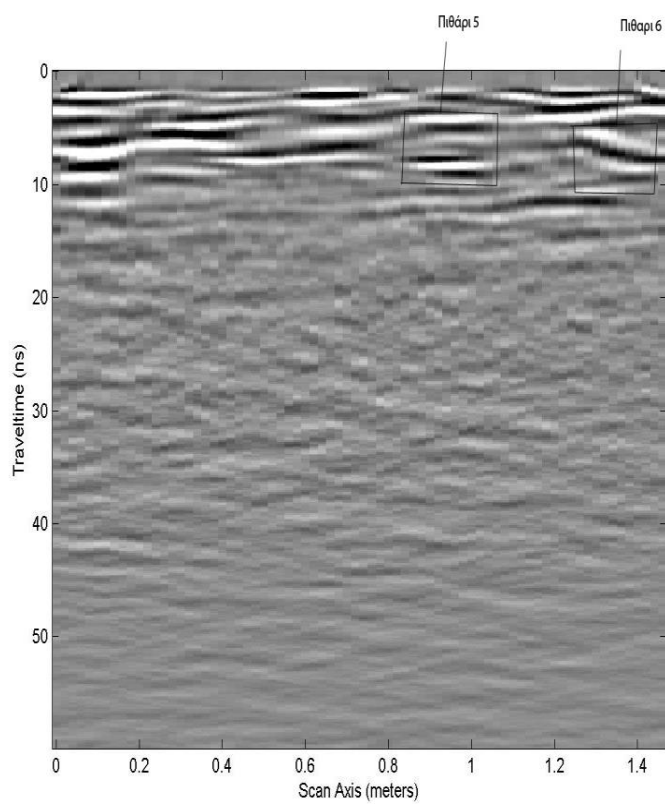
Σχήμα 4.13: Τομή 2 από Δύση προς Ανατολή Διακρίνεται η ανάκλαση από : Φούρνος



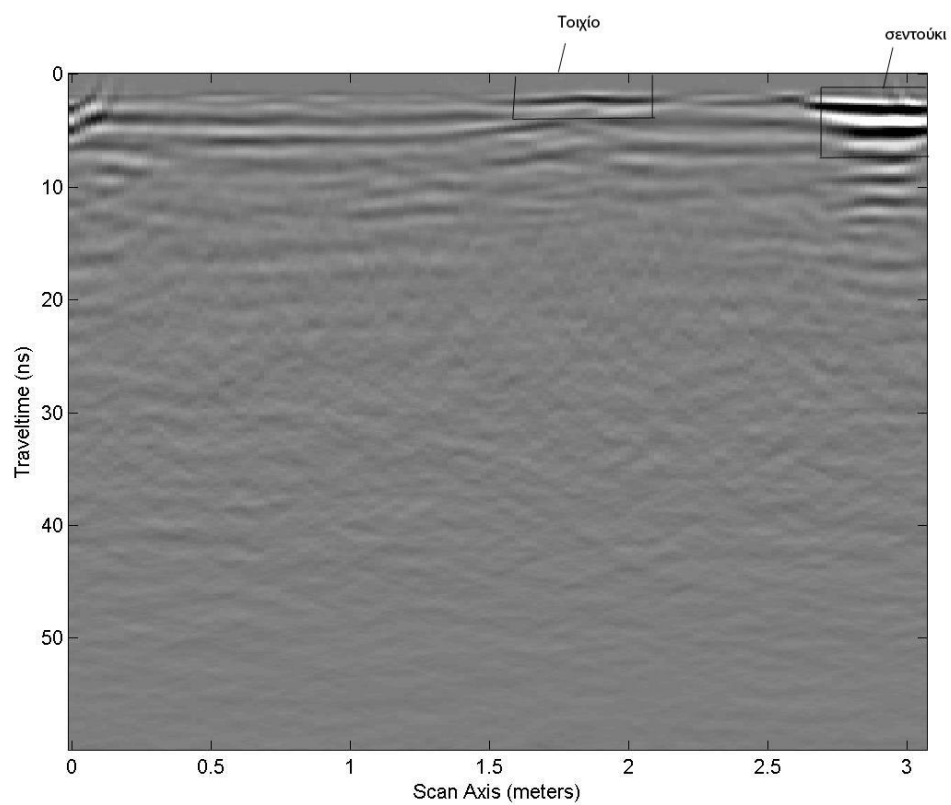
Σχήμα 4.14: Τομή 6 από Δύση προς Ανατολή Διακρίνονται οι ανακλάσεις από : Φούρνος, Τοιχίο, Λιθορίπτο Δάπεδο



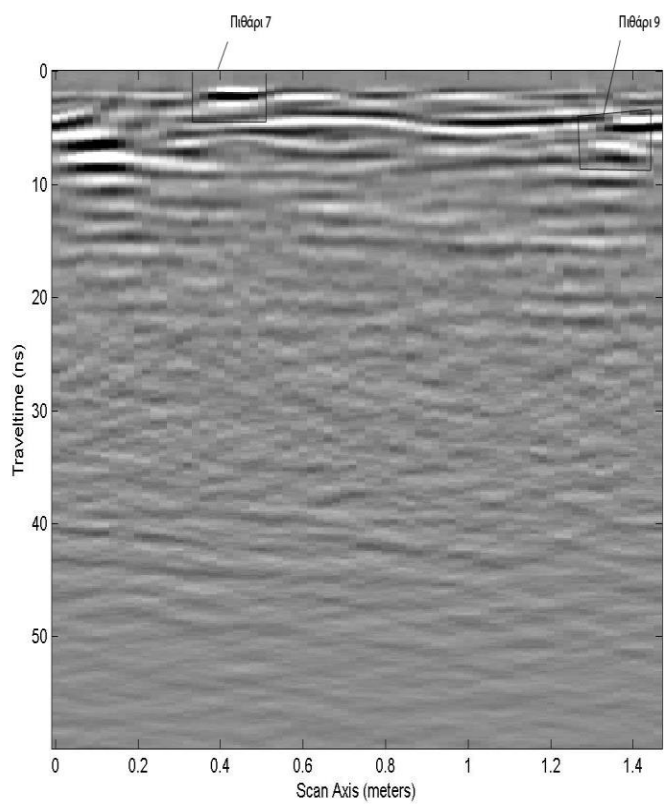
Σχήμα 4.15:Τομή 18 από Δύση προς Ανατολή Διακρίνεται η ανάκλαση από : Τοιχίο



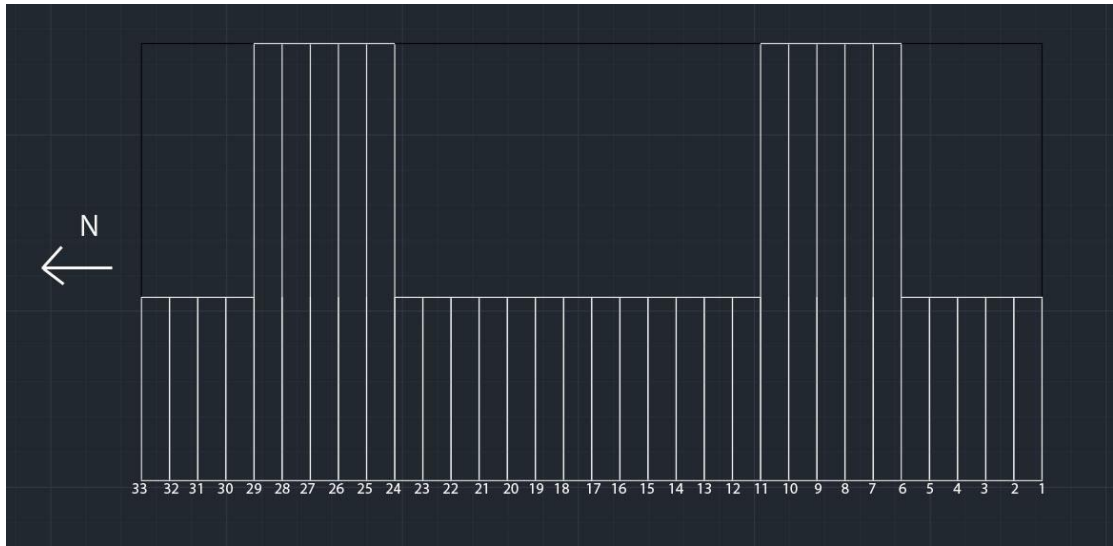
Σχήμα 4.16:Τομή 21 από Δύση προς Ανατολή. Διακρίνονται οι ανακλάσεις από :Πιθάρι 5, Πιθάρι 6



Σχήμα 4.17:Τομή 24 από Δύση προς Ανατολή Διακρίνονται οι ανακλάσεις από : Τοιχίο, Σεντούκι



Σχήμα 4.18:Τομή 30 από Δύση προς Ανατολή Διακρίνονται οι ανακλάσεις από : Πιθάρι 7, Πιθάρι 9



Σχήμα 4.19: Σκαρίφημα Γραμμών Μελέτης στην περιοχή μελέτης 2. Οι γραμμές μελέτης διασκοπήθηκαν με κατεύθυνση από Δύση προς Ανατολή

Τέλος παρουσιάζεται υπέρθεση των οριζόντιων τομών γεωραντάρ πάνω στην φωτογραφία της περιοχής διασκόπησης η οποία κατασκευάστηκε με τη βοήθεια του λογισμικού Photoshop.(σχήμα 4.20)



Σχήμα 4.20: Υπέρθεση των οριζόντιων τομών γεωραντάρ πάνω στην φωτογραφία της περιοχής διασκόπησης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας πραγματοποιήθηκε γεωφυσική διασκόπηση με τη μέθοδο του γεωραντάρ, σε χώρο προσομοίωσης Μινωϊκής ανασκαφής, στο Καστέλι Κισσάμου Χανίων.

Η βασική διαφορά της μελέτης αυτής είναι το γεγονός ότι όλοι οι στόχοι ήταν θαμμένοι σε γνωστή θέση (αλλά όχι σε γνωστό βάθος). Με αυτό τον τρόπο μπορεί να αξιολογηθεί η αποτελεσματικότητα και η ευστοχία της μεθόδου, χωρίς να απαιτηθεί μελλοντική ανασκαφή.

Το αρχικό συμπέρασμα που γίνεται σαφές και έχει τεκμηριωθεί και από τη βιβλιογραφική έρευνα, είναι η αξιοπιστία και η αποτελεσματικότητα της μεθόδου του γεωραντάρ στην αρχαιολογική έρευνα. Αυτά τα χαρακτηριστικά σε συνδυασμό με το γεγονός ότι το γεωραντάρ ανήκει στις μη καταστροφικές μεθόδους εντοπισμού, το καθιστούν την πλέον κατάλληλη μέθοδο διασκόπησης σε χώρους με αρχαιολογικό ενδιαφέρον.

Όπως αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 3, στην παρούσα διασκόπηση η απόσταση μεταξύ των γραμμών και το βήμα δειγματοληψίας ορίστηκαν στα 0.2m και 0.02 m αντίστοιχα, σε αντίθεση με το σύννητες 0.5m και 0.05 m, λόγω του μικρού εμβαδού της περιοχής διασκόπησης και του σχετικά μικρού μεγέθους κάποιων από τους στόχους. Η μείωση αυτών των παραμέτρων έγινε με σκοπό την βελτίωση της διακριτικής ικανότητας του γεωραντάρ και την επίτευξη εντοπισμού ακόμα και των μικρότερων στόχων. Η ερμηνεία των δεδομένων έδειξε ότι η μείωση αυτών των παραμέτρων αποδείχθηκε αποτελεσματική, καθώς εντοπίστηκαν όλοι οι στόχοι στις τομές γεωραντάρ και η πλειοψηφία τους στις οριζόντιες τομές. Έτσι, προτείνεται σε μελλοντικές διασκοπήσεις ο ορισμός της απόστασης μεταξύ των γραμμών σε 0.5 m όταν διασκοπείται μία ευρύτερη περιοχή μεγάλου εμβαδού, και η μείωση της σε 0.2m ή ακόμα και 0.1m για τη διασκόπηση μιας περιοχής ενδιαφέροντος μικρού εμβαδού μέσα στην ευρύτερη περιοχή διασκόπησης.

Από την επεξεργασία και την ερμηνεία των δεδομένων σε συνδυασμό με την γνώση των στόχων, προκύπτει ότι όλοι οι στόχοι εντοπίστηκαν στις τομές του γεωραντάρ. Υπάρχουν επιπλέον και κάποιοι αδιευκρίνιστοι στόχοι οι οποίοι στις τομές

γεωραντάρ αναφέρονται ως «πλίνθοι», οι οποίοι δεν μπόρεσαν να ταυτοποιηθούν από τις φωτογραφίες του χώρου διασκόπησης πριν αυτός θαφτεί και πιθανότατα τοποθετήθηκαν εκεί μετά τη λήψη των φωτογραφιών.

Σε αντίθεση με τις τομές του γεωραντάρ, οι οριζόντιες τομές δεν κατάφεραν να καταστήσουν δυνατόν τον εντοπισμό του σύνολο των στόχων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το περιμετρικό τοιχίο, το οποίο φαίνεται μερικώς, και όχι στο σύνολό του. Επίσης, στην 2^η περιοχή διασκόπησης τα πιθάρια 5 και 6 δεν διακρίνονται καθόλου, ενώ τα πιθάρια 7,8,9 και το ενδιάμεσο τοιχίο διακρίνονται μερικώς. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί αν λάβει κανείς υπόψη το μικρό βάθος ταφής, την πιθανή ύπαρξη υγρασίας και την απόσταση μεταξύ των γραμμών.

Τέλος, από την σύγκριση και τον συνδυασμό δύο κεραίων γεωραντάρ 400 MHz και 900 MHz προκύπτουν δύο συμπεράσματα. Πρώτον, οι τομές γεωραντάρ και οι οριζόντιες τομές που προέκυψαν από τα δεδομένα που λήφθηκαν από την κεραία των 400 MHz δείχνουν με μεγαλύτερη ακρίβεια τους στόχους, σε σχέση με τις αντίστοιχες των 900 MHz παρόλο το μικρό βάθος. Παρόλα αυτά, κάποιοι στόχοι εντοπίζονται μόνο στην κεραία των 900 MHz λόγω της αυξημένης διακριτικής της ικανότητας. Έτσι εξάγεται το συμπέρασμα ότι για την επίτευξη των βέλτιστων αποτελεσμάτων πρέπει να ληφθούν υπόψη τα δεδομένα και από τις δύο κεραίες συνδυαστικά, και να μην εξετάζονται τα δεδομένα από κάθε κεραία μεμονωμένα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

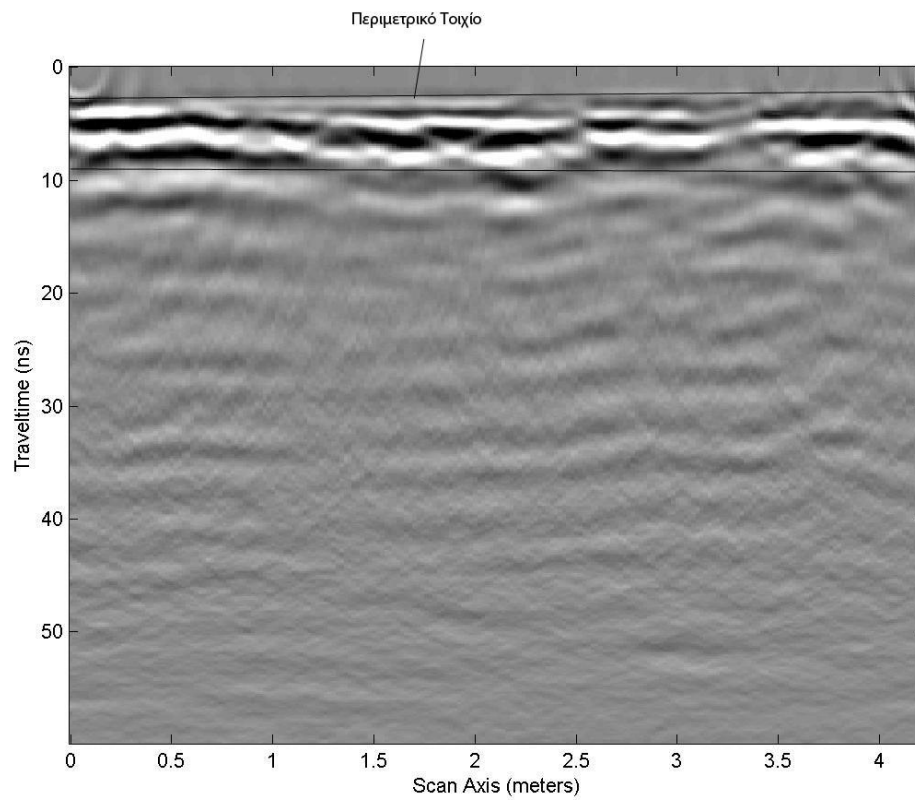
1. **Βαφείδης Α.,2001**,*Εφαρμοσμένη Γεωφυσική II*, Σημειώσεις, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά
2. **Βλάσσης Ι.,2009**, *Γεωφυσική Διασκόπηση στον αρχαιολογικό χώρο των Απτέρων*, Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά
3. **Γαραντζιώτη Π.,2017**, *Γεωφυσική έρευνα με τη μέθοδο του γεωραντάρ στο φρούριο Κούλε στο Ηράκλειο Κρήτης*, Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά
4. **Ευθυμίου Μ.,2012**, *Γεωφυσική διασκόπηση στον αρχαιολογικό χώρο των αρχαίων Απτέρων του Ν. Χανίων*, Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά
5. **Ιωαννίδης Π.,2008**,*Απεικόνιση θαμμένων αρχαιοτήτων με γεωφυσικές μεθόδους υψηλής ευκρίνειας στην περιοχή της Ιτάνου Λασιθίου, Κρήτης*, Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά
6. **Μανατάκη Μ.,2011**, *Συμβολή του γεωραντάρ στη χαρτογράφηση θαμμένων αρχαιοτήτων-Εφαρμογή στον αρχαιολογικό χώρο της Απτέρας, Ν.Χ*, Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά
7. **Οικονόμου Ν.,1998**,*Γεωφυσική έρευνα στον αρχαιολογικό χώρο της Ιτάνου, Λασιθίου*, Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά
8. **Παγάνης Α.,2015**,*Γεωφυσική διασκόπηση στο ρωμαϊκό θέατρο των Απτέρων, Χανίων*, Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά
9. **Πουλιούδης Γ.,1999**, *Γεωφυσική διασκόπηση στον αρχαιολογικό χώρο της Ιτάνου με τη μέθοδο του υπεδάφειου ραντάρ*, Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά
10. **Σηφακάκης Ε.,1999**,*Μελέτη του μνημείου του Οκταβιανού με τη χρήση του υπεδάφειου ραντάρ στον αρχαιολογικό χώρο της Νικόπολης*, Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά

11. **Σπανουδάκης Ν.,2002,***Ανάπτυξη μεθόδων επεξεργασίας γεωραντάρ και εφαρμογή σε περιβαλλοντικά προβλήματα, Μεταπτυχιακή εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά*
12. **Σπανουδάκης Ν.,2007,***Συμβολή των μεθόδων ταξινόμησης δεδομένων γεωραντάρ στην επίλυση περιβαλλοντικών προβλημάτων, Διδακτορική Διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά*
13. **Σταγάκης Γ., 2017,***Συνδυασμένη ερμηνεία δεδομένων γεωραντάρ και γεωηλεκτρικών δεδομένων από τα οχυρωματικά τείχη στη δυτικά τάφρο της πόλης των Χανίων, Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά*
14. **Ττάνου Κ., 2010,***Συνδυασμένη γεωφυσική έρευνα στον αρχαιολογικό χώρο της ΑυτούΚαστελίου-Πεδιάδος, Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά*
15. **Χατζηγεωργίου Μ., 2010,***Εφαρμογή μεθόδων επεξεργασίας δεδομένων γεωραντάρ για τον εντοπισμό θαμμένων ανθρωπογενών δομών, Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά*
16. **Ahmed S.B., El Qassas R.A.Y., El Salam H.F.A., 2019,***Mapping the possible buried archaeological targets using magnetic and ground penetrating radar data, Fayoum, Egypt, The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences, pp.1-12*
17. **Bano M., Loeffler O., Girard J., 2009,***Ground penetrating radar imaging and time-domain modeling infiltration of diesel fuel in a sandbox experiment, M.Bano et al/ C.R Geoscience, 341, pp.846-858*
18. **Basile V., Carrozzo M.T, Negri S., Nuzzo L., Quatra T., Villani A.V., 2000,***A ground-penetrating radar survey for archaeological investigations in an urban area(Lecce, Italy), Journal of Applied Geophysics 44, pp.15-32*
19. **Conyers L.B, 2012,***Advances in Ground-Penetrating Radar Exploration in Southern Arizona, Journal of Arizona Archaeology, V. 2, N. 1,pp. 80-91*
20. **Conyers L.B., Sutton M., St. Pierre E.,2019,***Dissecting and Interpreting a Three-Dimensional Ground-Penetrating Radar Dataset : An Example from Northern Australia, Sensors, 19,pp.1-11*
21. **Conyers L.B.,2013,***Ground-Penetrating Radar Studies at the HAMMER Test Bed Facility, Richland, Washington, Journal of Northwest Anthropology,47.2, pp. 153-166*

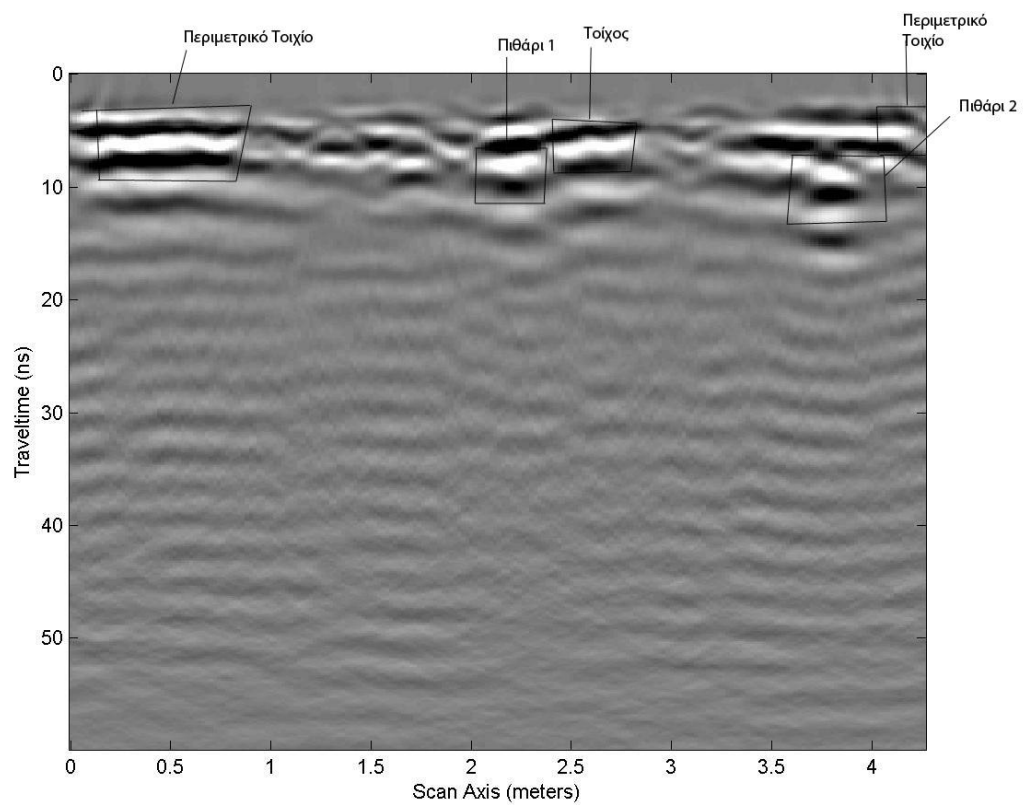
22. **Conyers L.B.,2015**, *Analysis and interpretation of GPR datasets for integrated archaeological mapping*, Near Surface Geophysics,13 pp. 1-8
23. **McNaughton C.H.,2011**, *Monitoring A Shallow Gasoline Release using GPR at CFB Borden*, thesis for the degree of Master of Science in Earth Sciences, Waterloo, Ontario, Canada
24. **Pajewski L., Persico R., Salucci M., Solla M., 2017**, *Ground Penetrating Radar for archaeological investigations and cultural-heritage diagnostics: Research activities in the COST Action TU1208*, IMEKO International Conference on Metrology for Archaeology and Cultural Heritage, pp.87-91
25. **Shokri N.H., Amin Z.M., 2016**, *Ground Penetrating Radar (GPR) Application in Archaeology: A Case Study*, UniversitiTeknologi Malaysia, Johor Bahru,Conference: international graduate conference on engineering, science and humanities, at skudai, johor, malaysia, pp. 1-8
26. **Tzanis A., Kafetsis G., 2004**, *A Freeware Package for the Analysis and Interpretation of Common-Offset Ground Probing Radar Data, Based on General Purpose Computing Engines*, Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας, V.36, pp. 1347-1354
27. **Urban T.M., Rasic J.T., Alix C., Anderson D.D., Manning S.W., Mason O.K., Tremayne A.H., Wolff C.B., 2016**, *Frozen: The Potential and Pitfalls of Ground-Penetrating Radar for Archaeology in the Alaskan Arctic*, Remote Sensing, 8, pp. 1-23
28. **Zhao W., Tian G., Forte E., Pipan M., Wang Y., Li X., Shi Z., Liu H., 2015**, *Advances in GPR data acquisition and analysis for archaeology*, Geophysical Journal International 202, pp.62-71

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α : ΓΡΑΜΜΕΣ ΓΕΩΡΑΝΤΑΡ

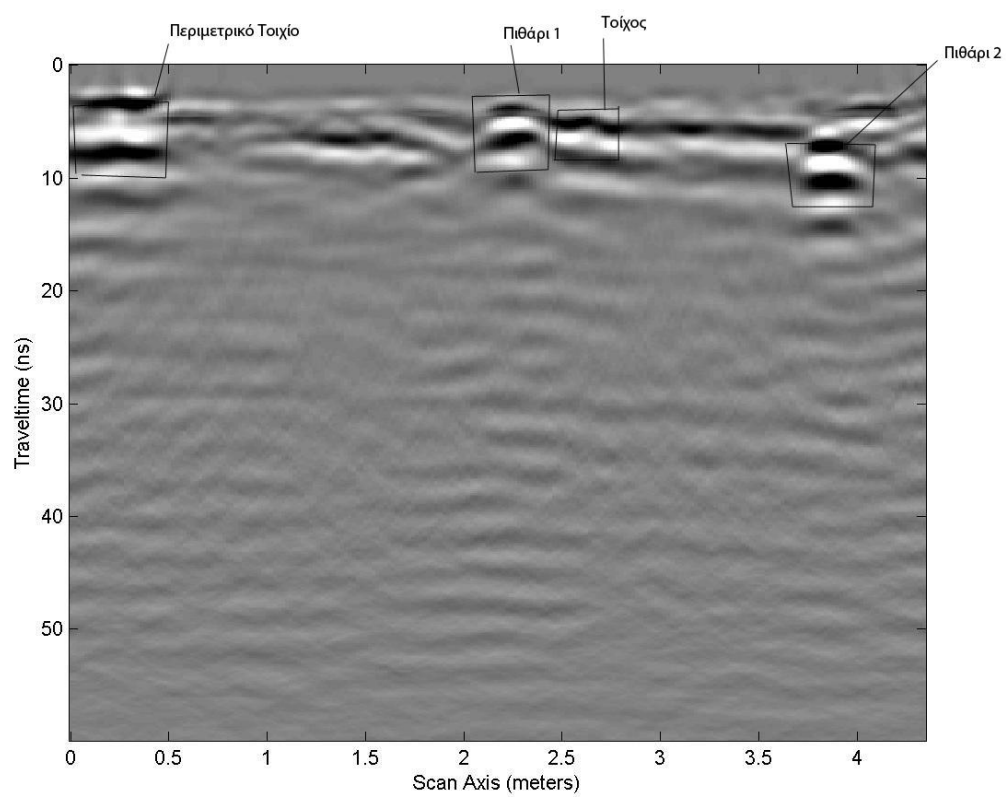
Grid 1 400 MHz



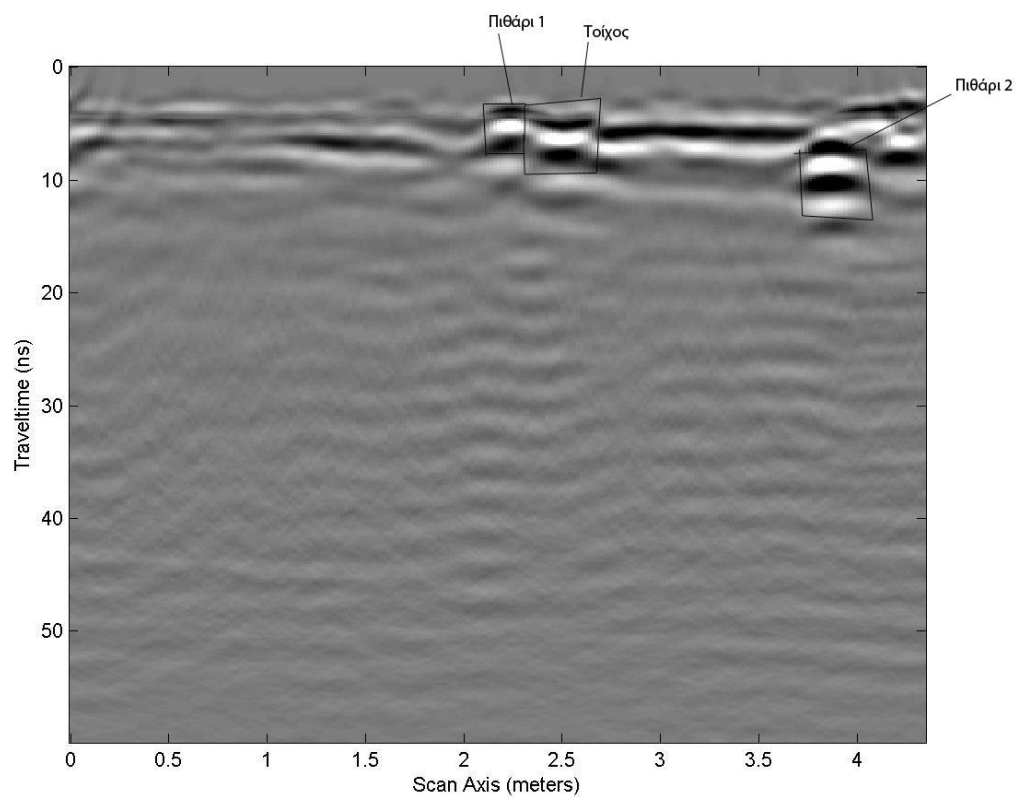
Γραμμή 1



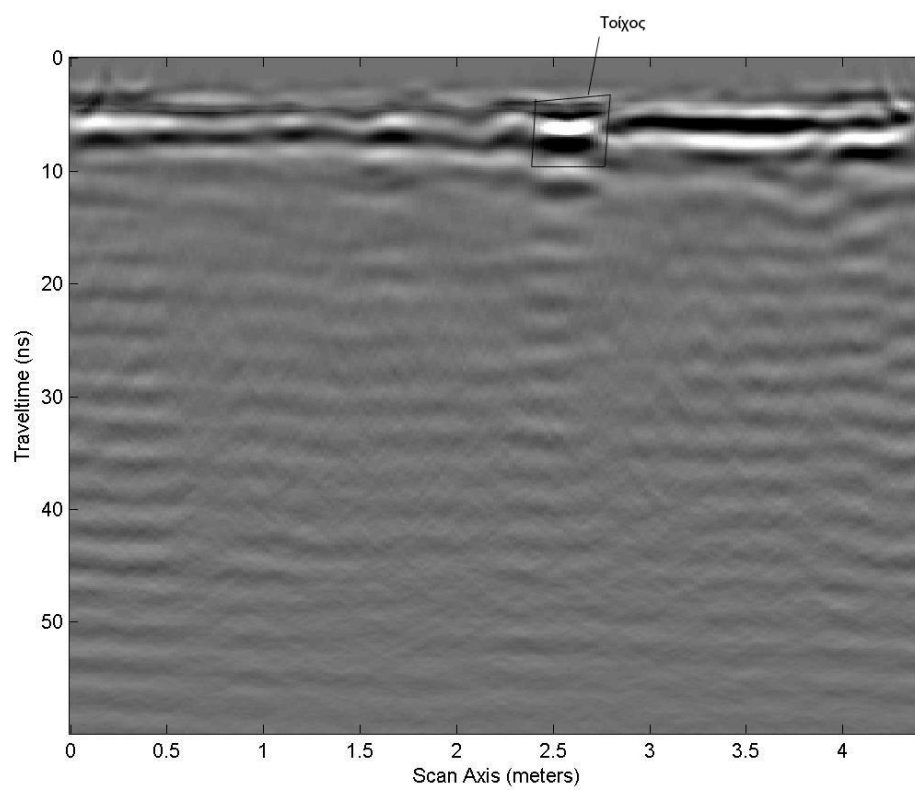
Γραμμή 2



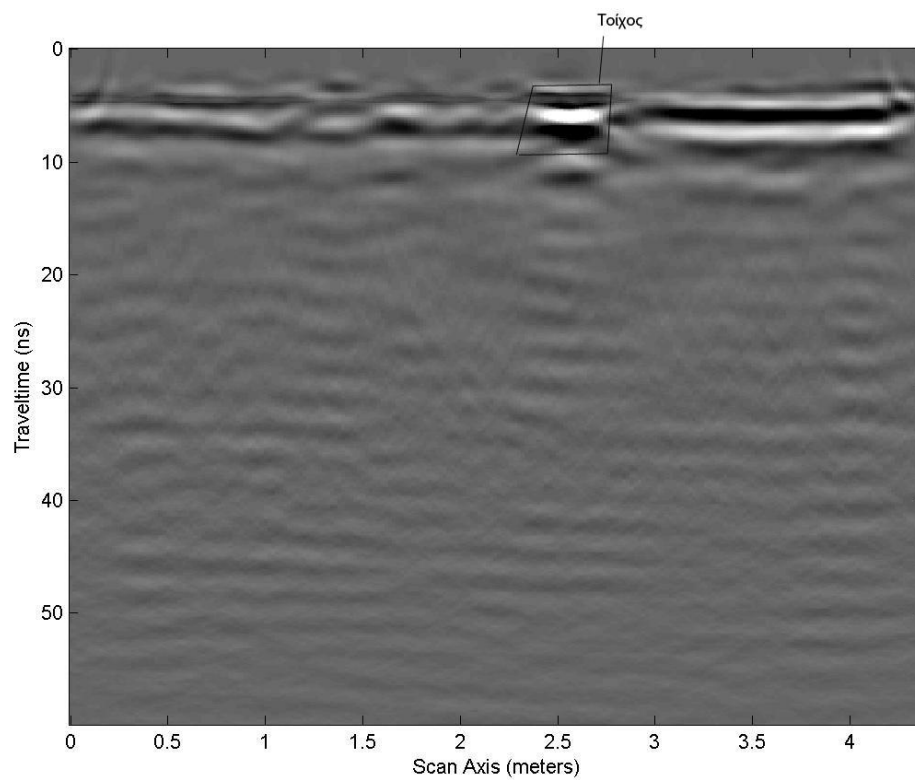
Γραμμή 3



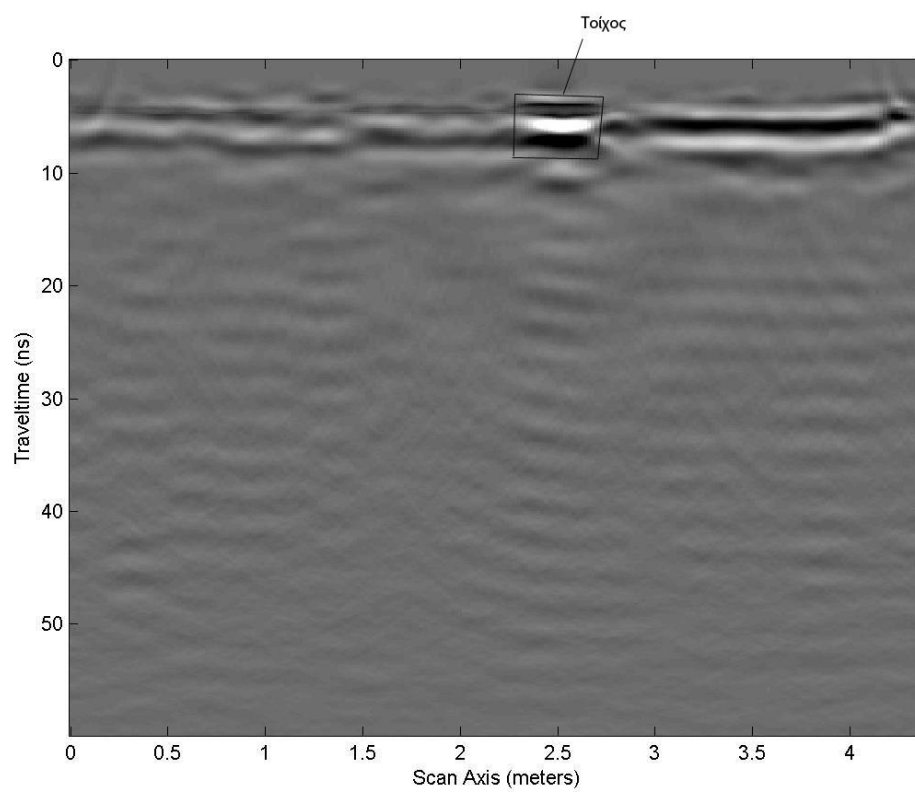
Γραμμή 4



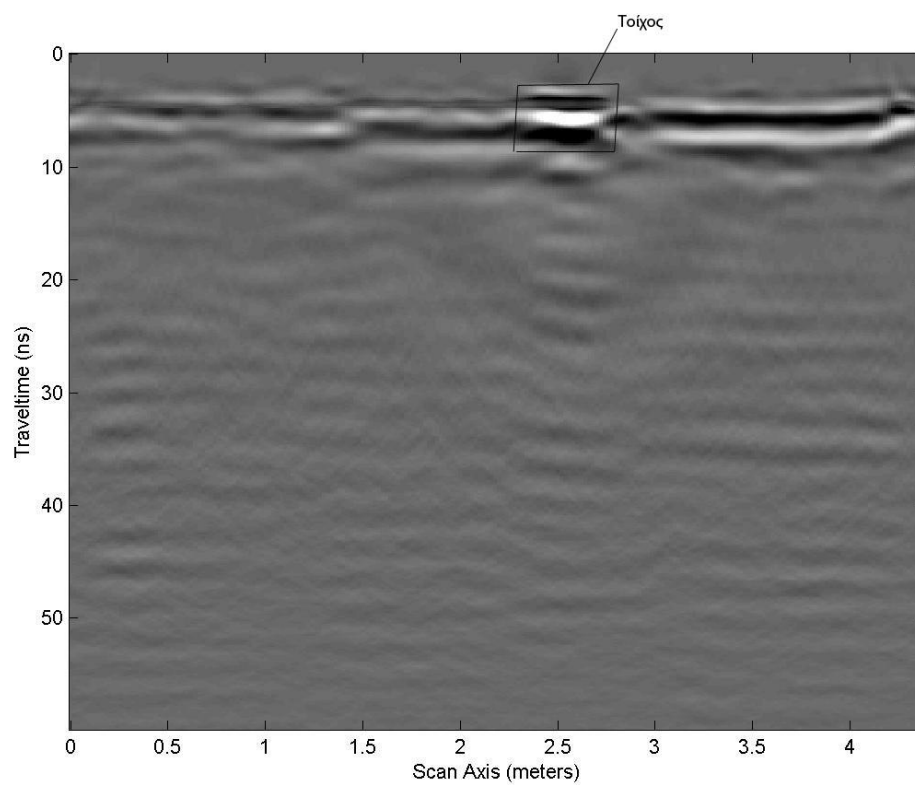
Γραμμή 5



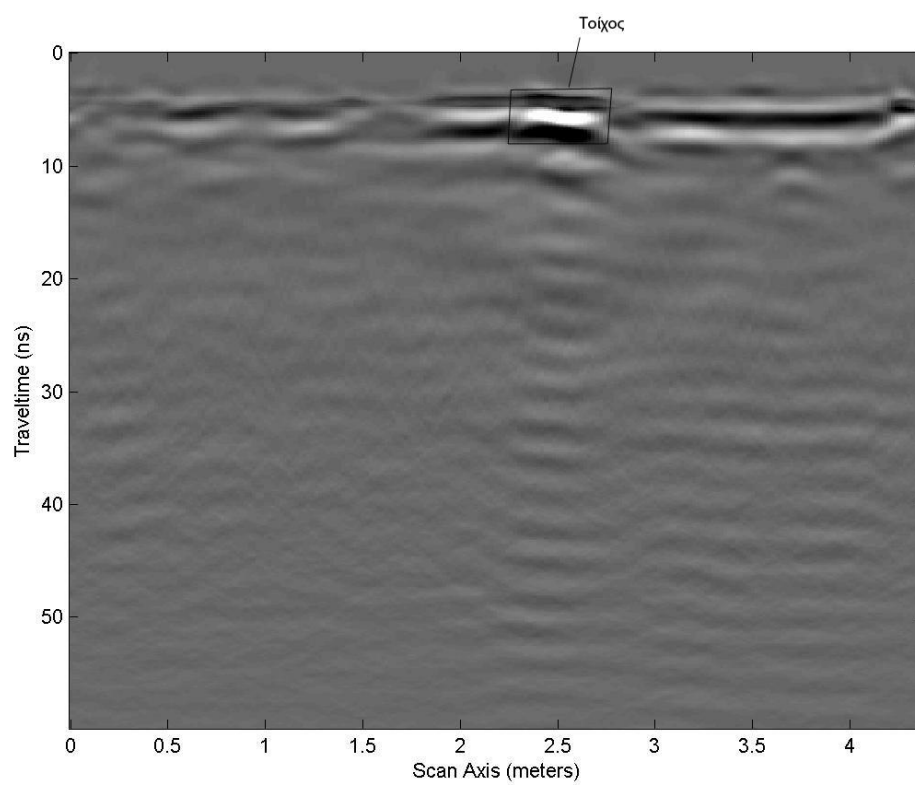
Γραμμή 6



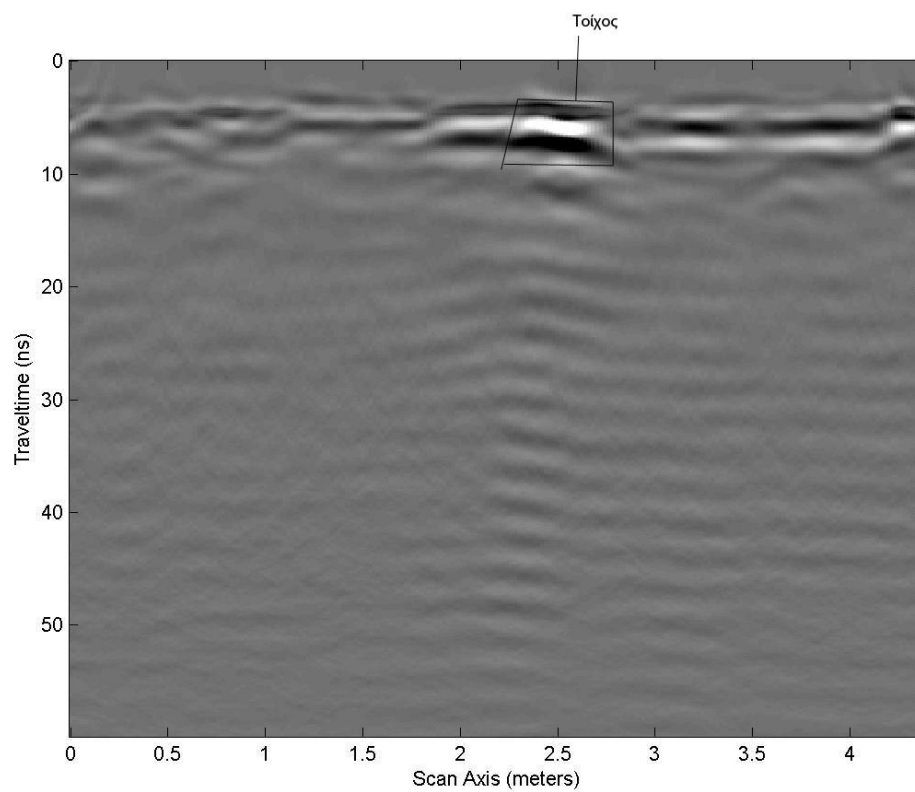
Γραμμή 7



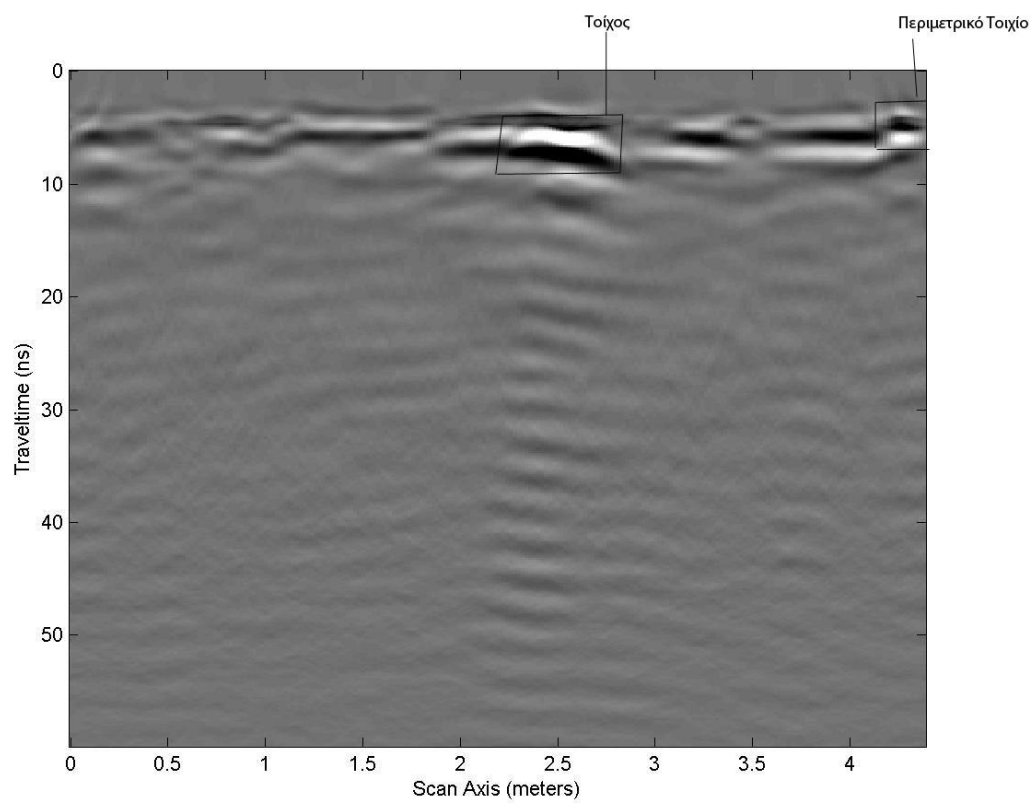
Γραμμή 8



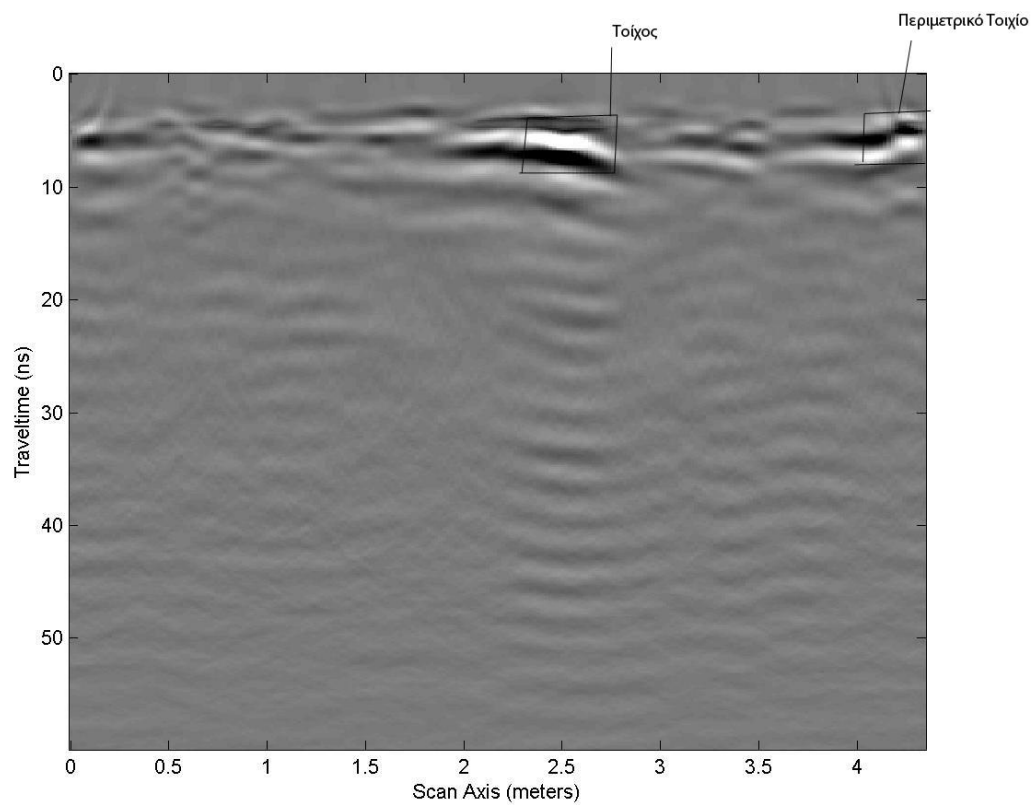
Γραμμή 9



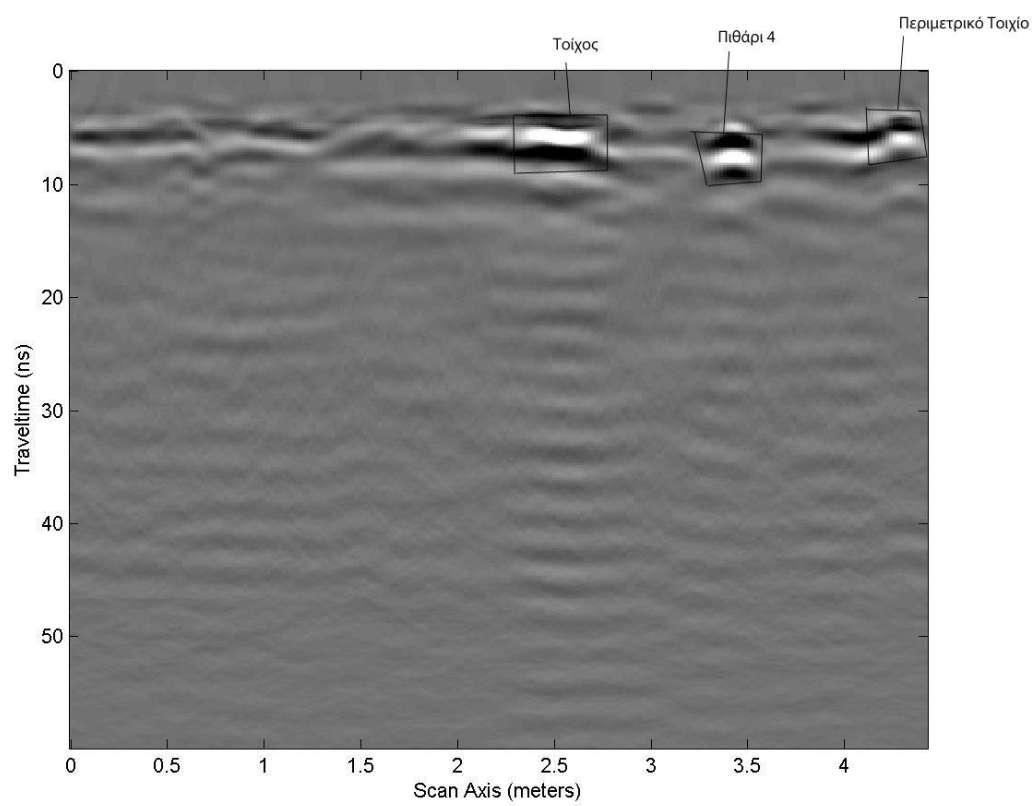
Γραμμή 10



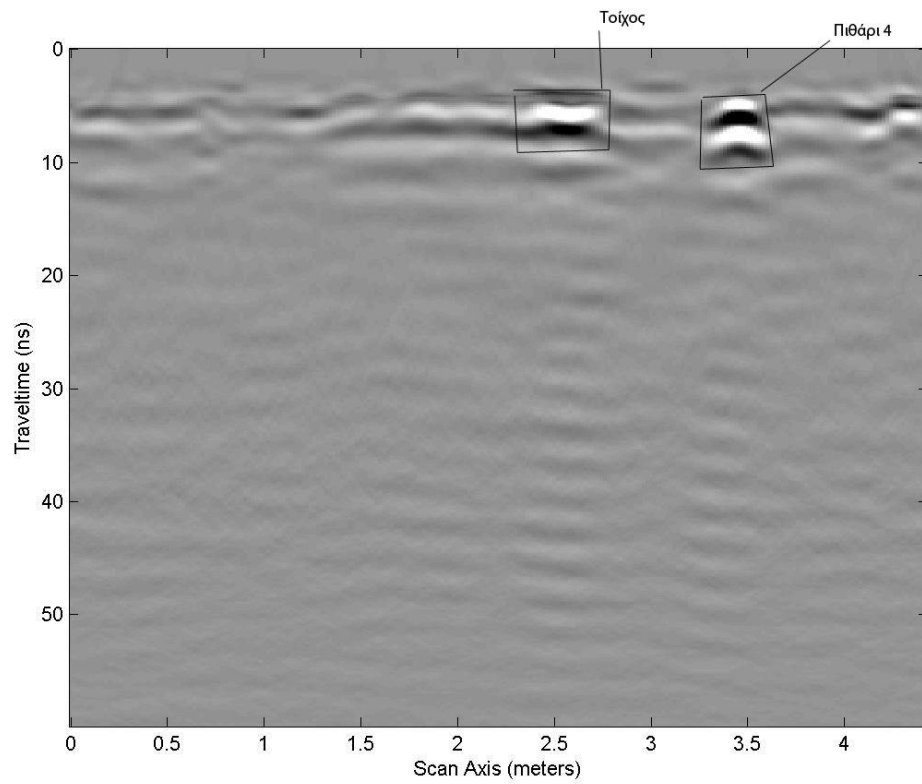
Γραμμή 11



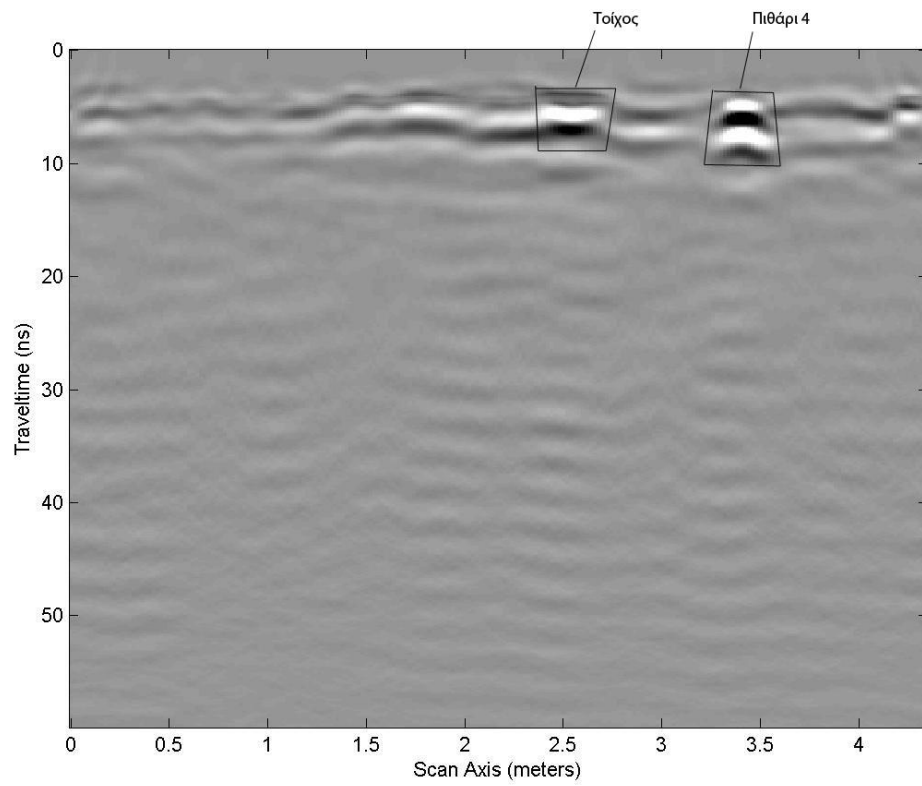
Γραμμή 12



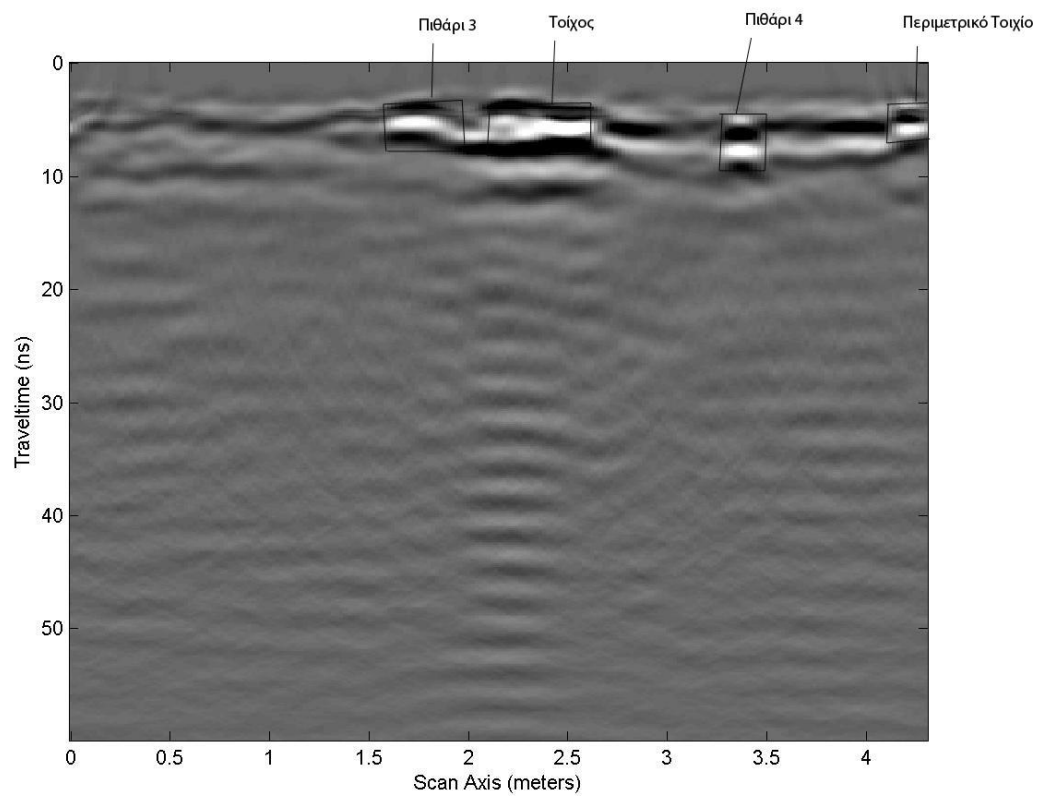
Γραμμή 13



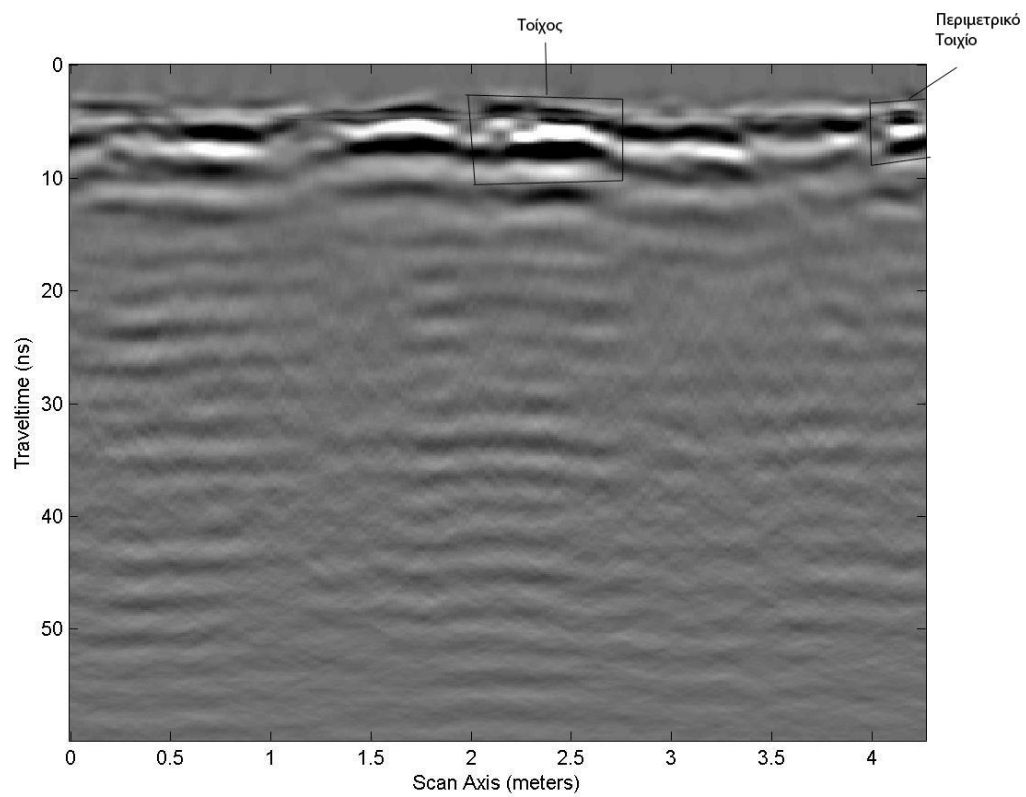
Γραμμή 14



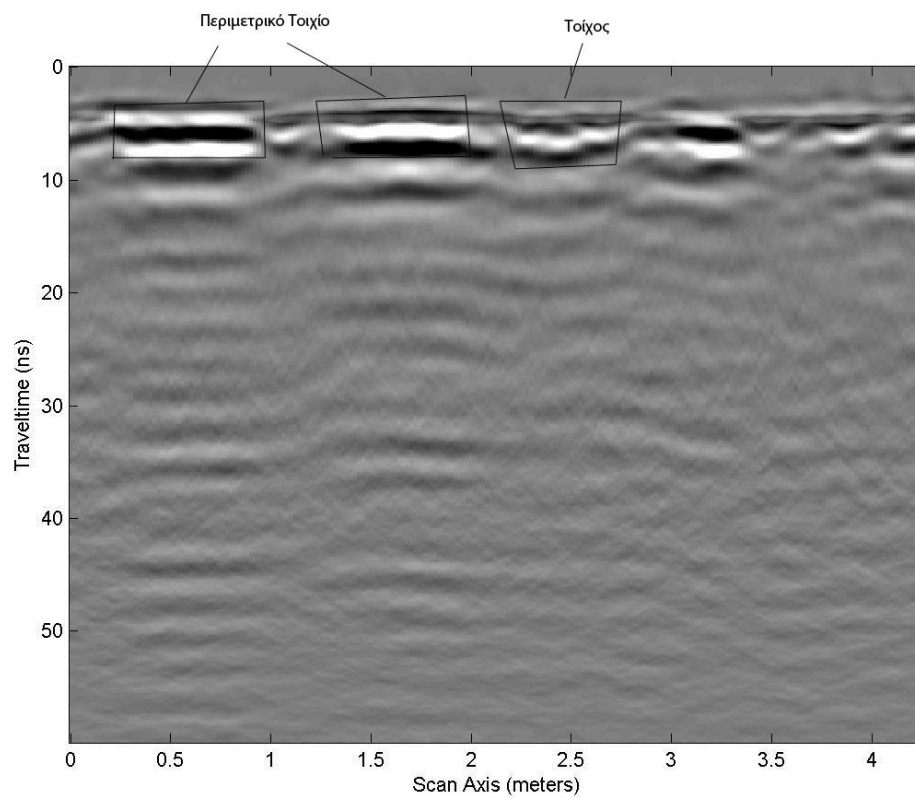
Γραμμή 15



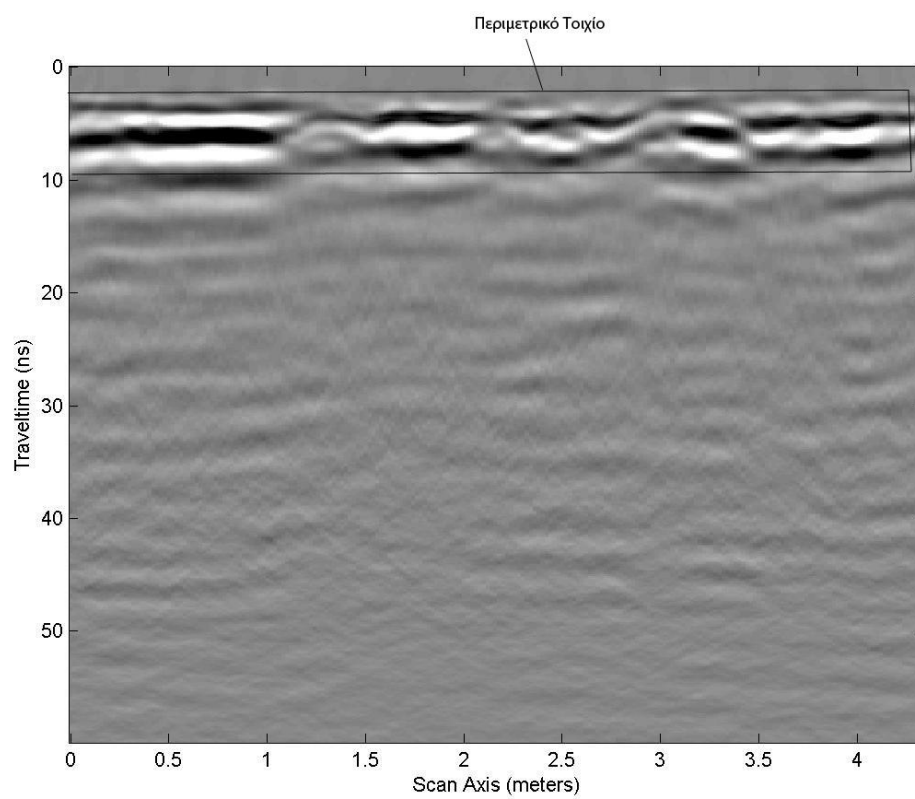
Γραμμή 16



Γραμμή 17

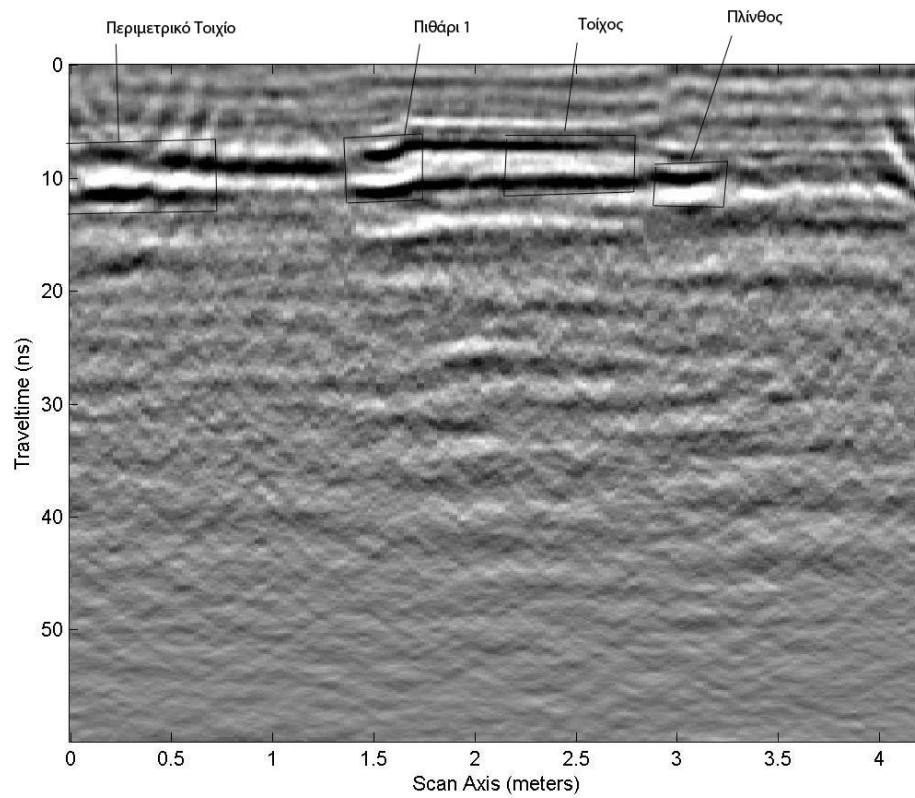


Γραμμή 18

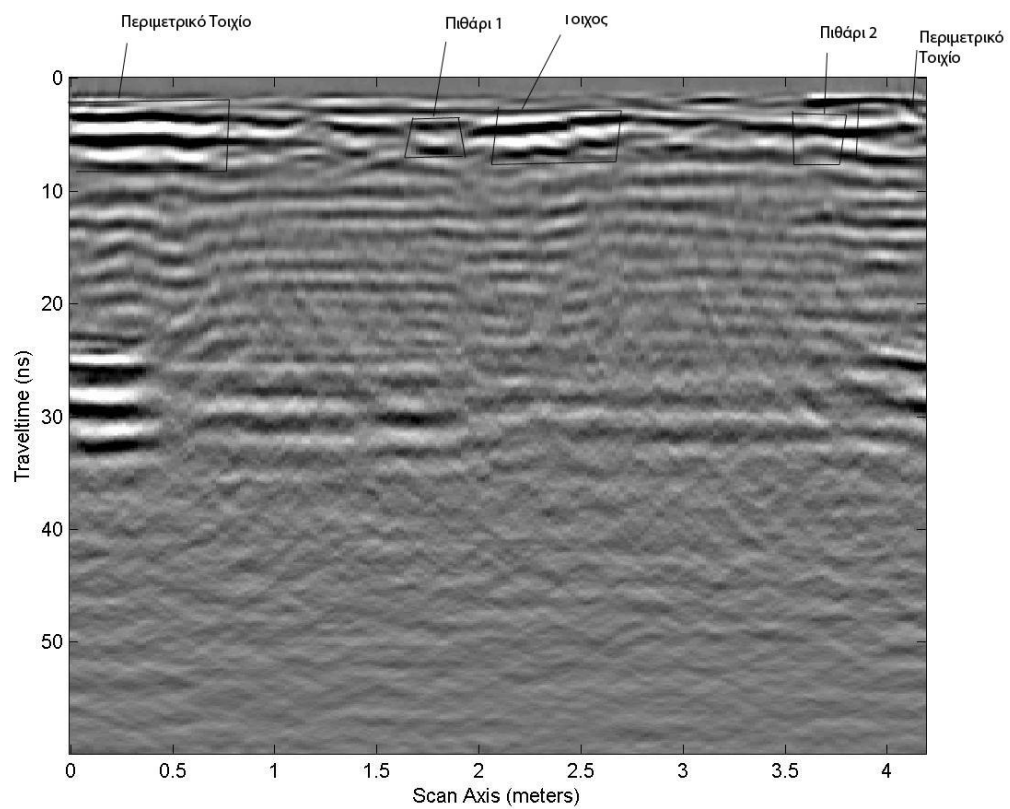


Γραμμή 19

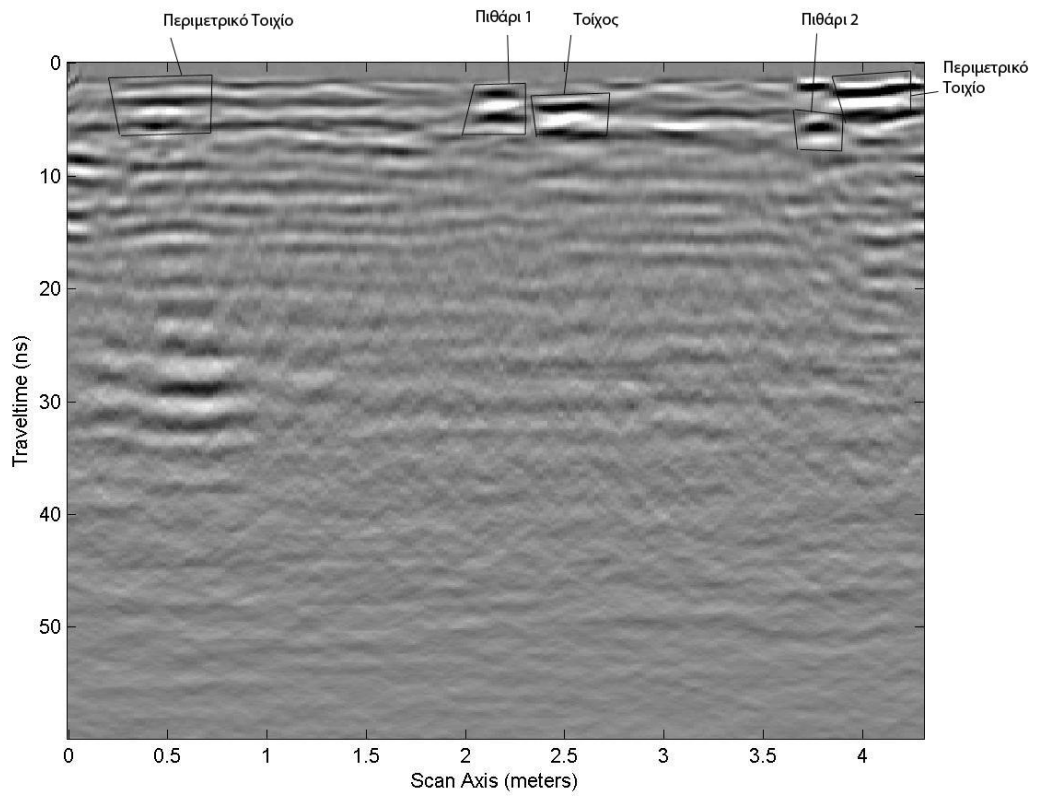
Grid 1 900 MHz



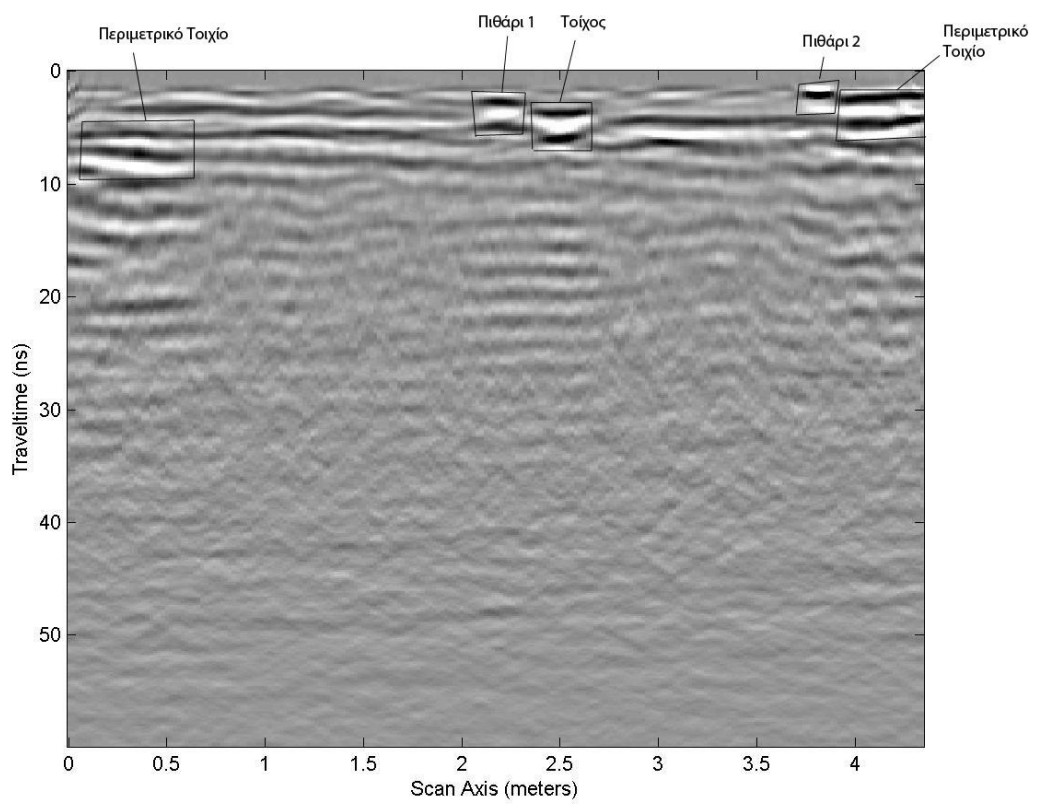
Γραμμή 1



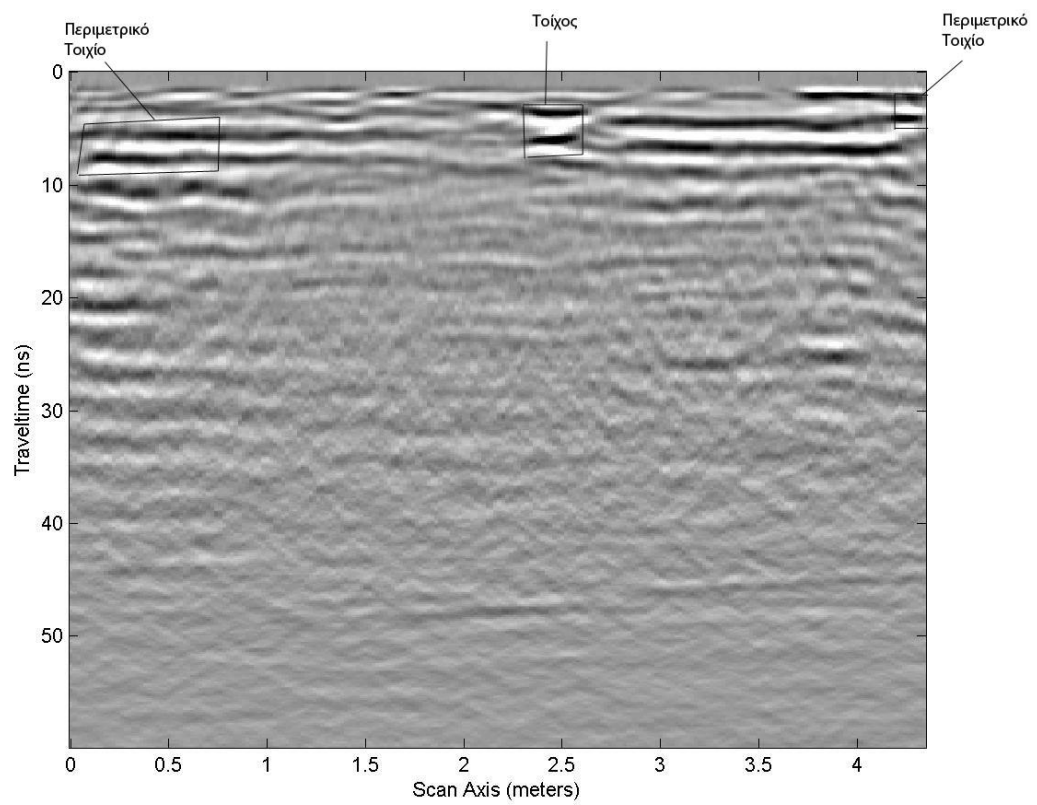
Γραμμή 2



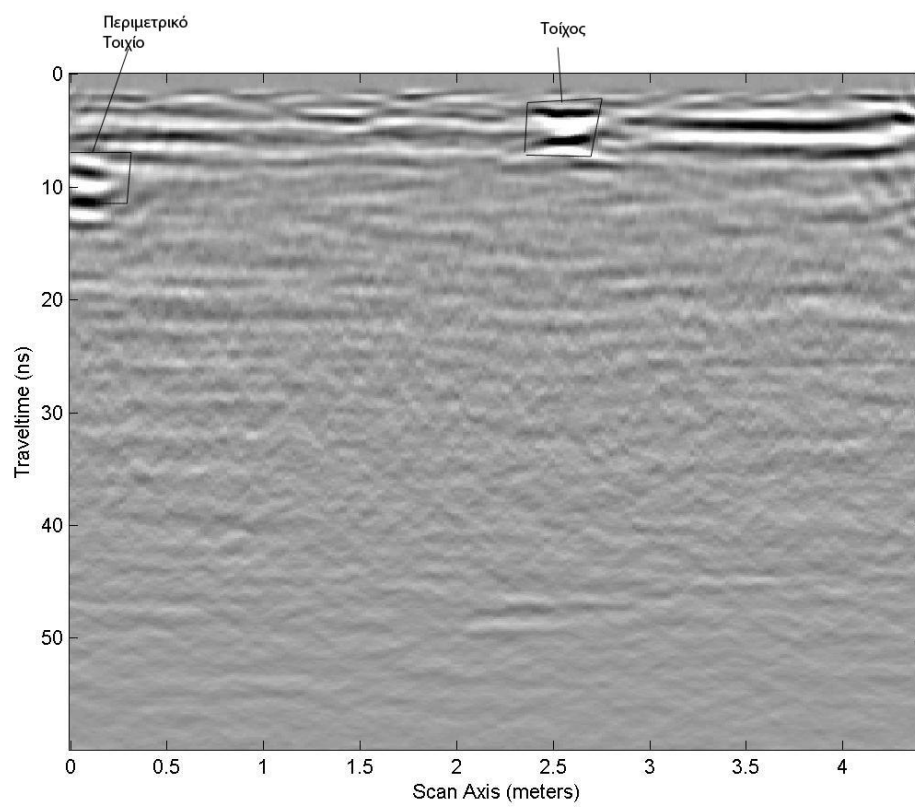
Γραμμή 3



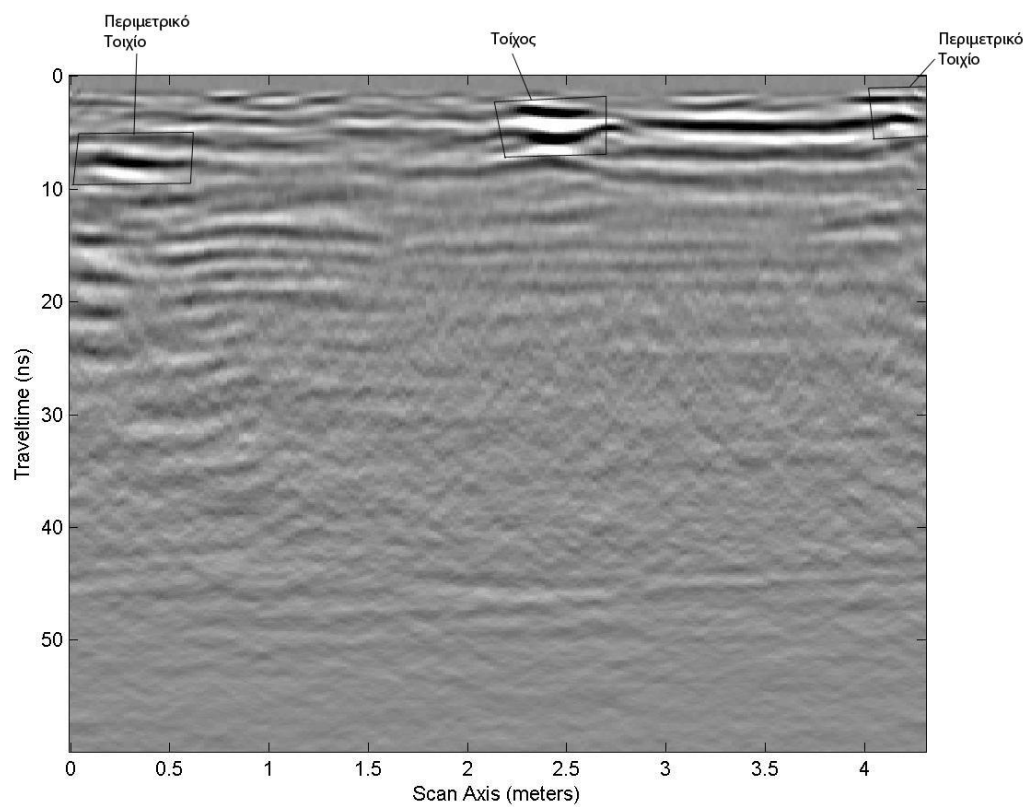
Γραμμή 4



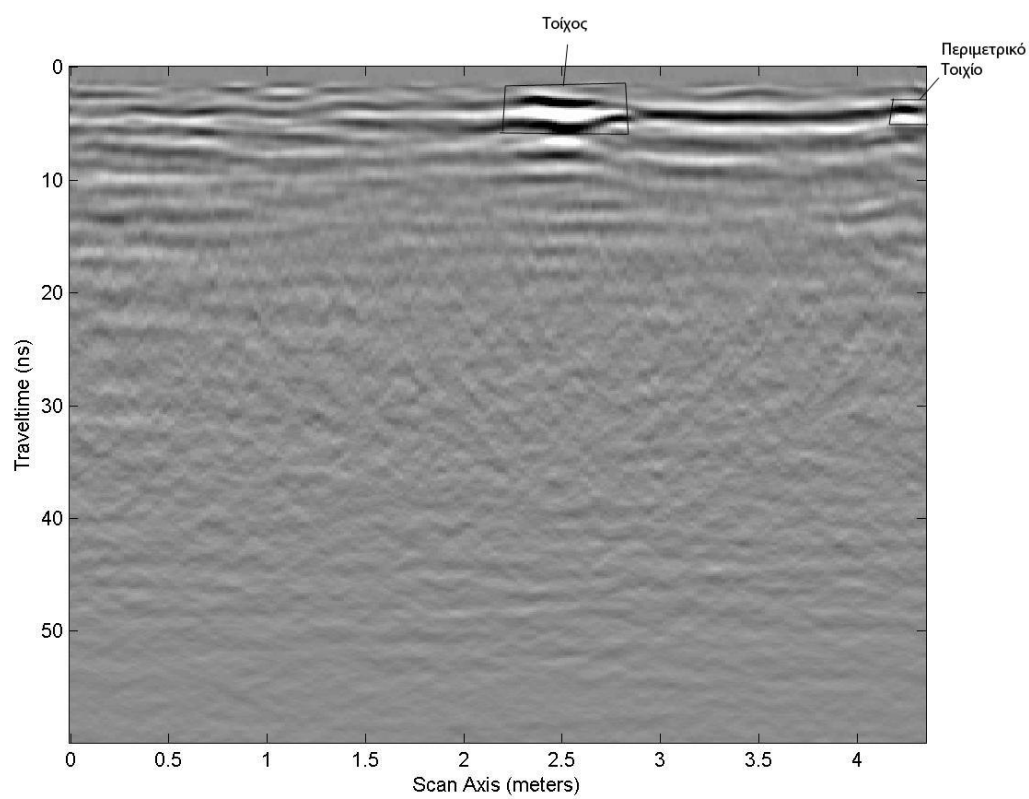
Γραμμή 5



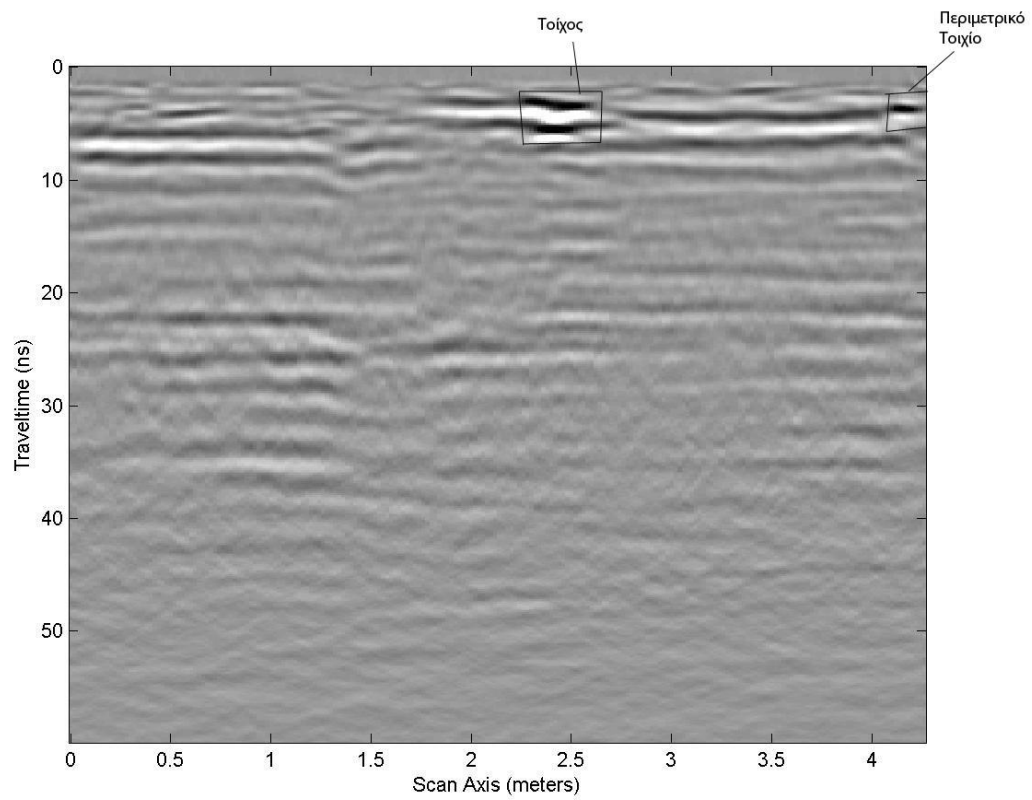
Γραμμή 6



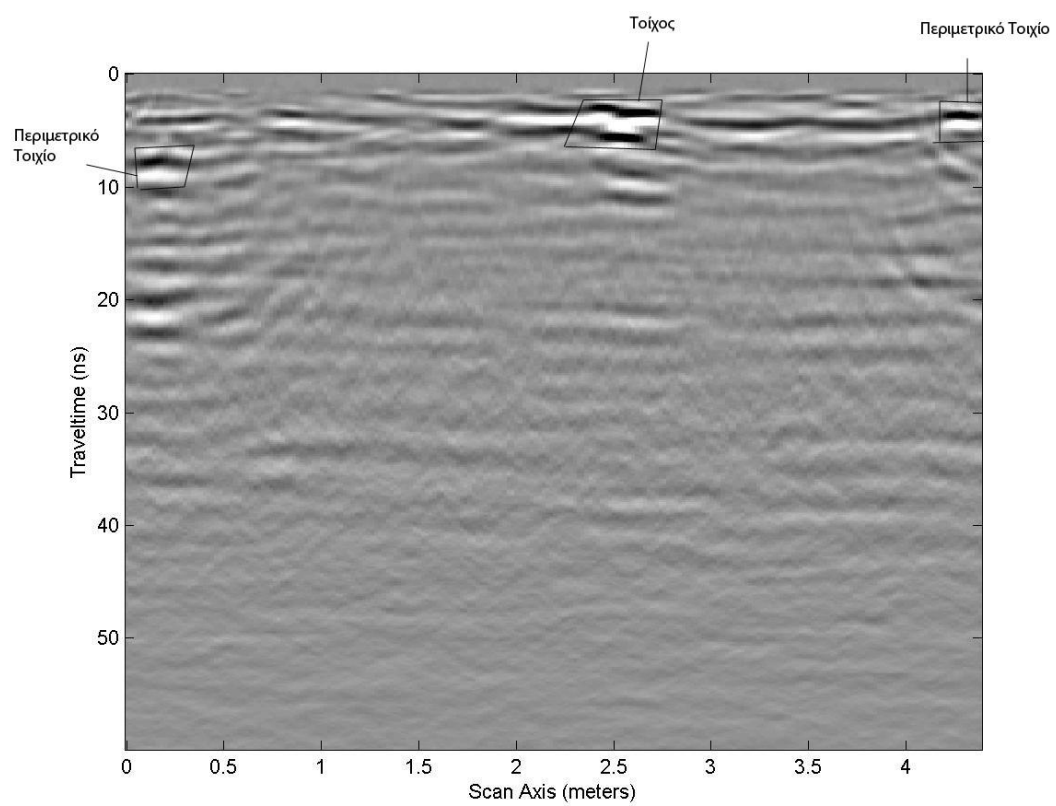
Γραμμή 7



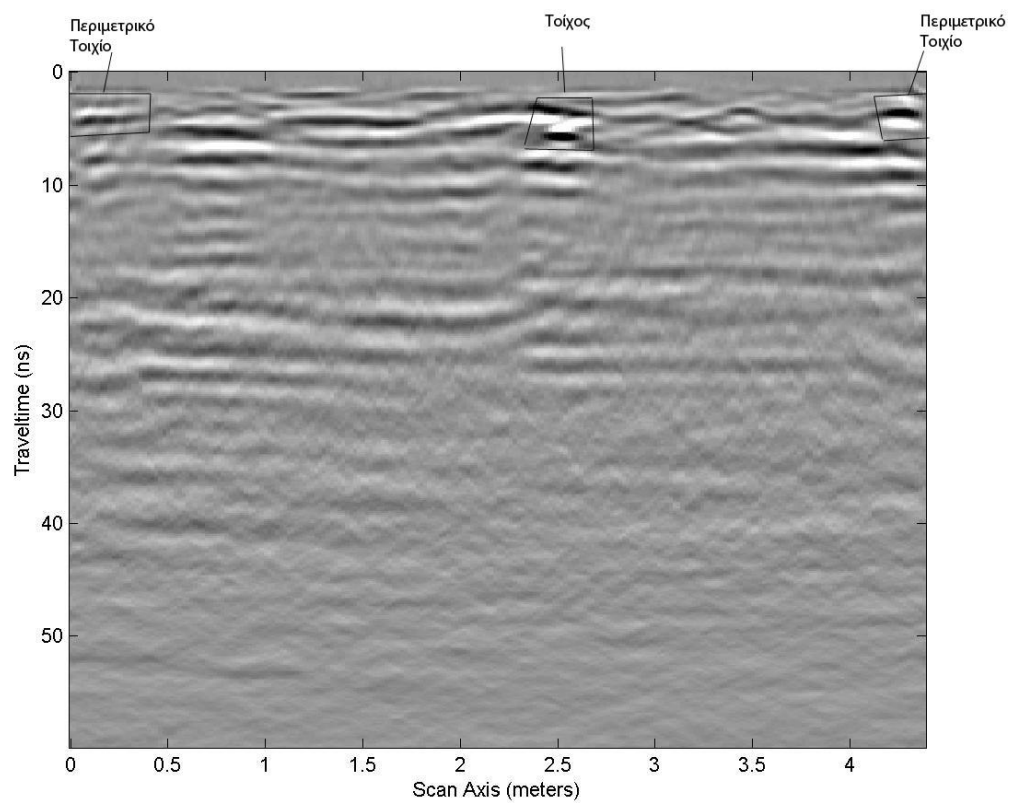
Γραμμή 8



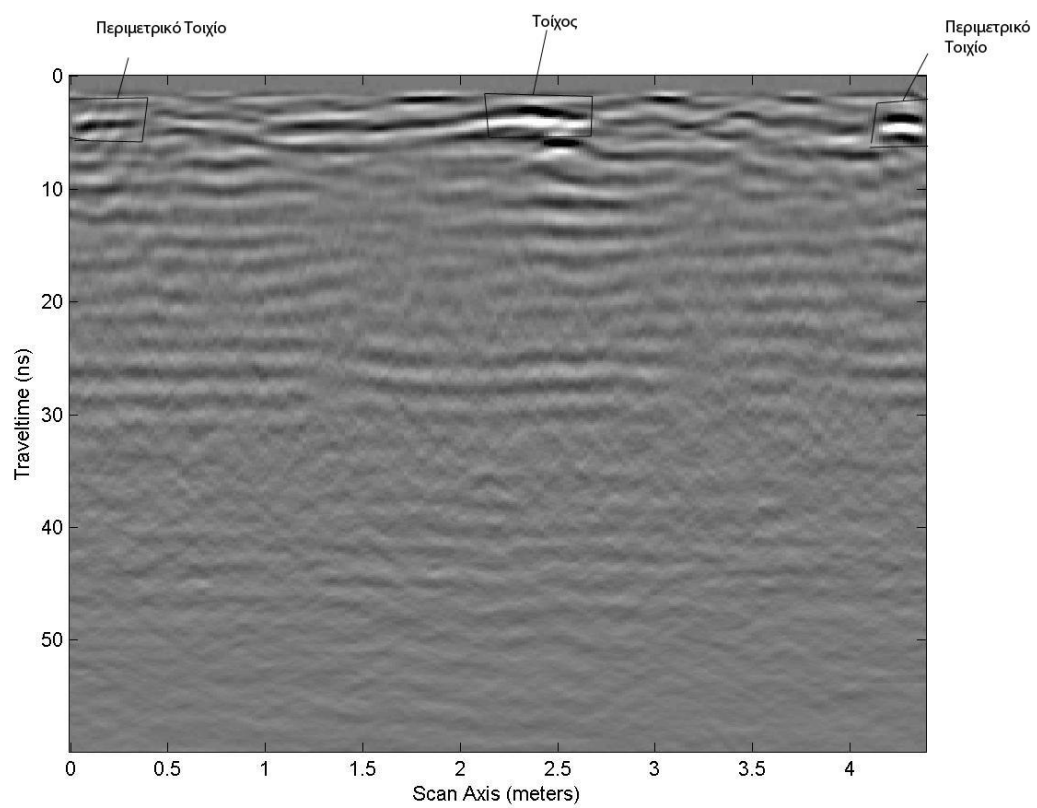
Γραμμή 9



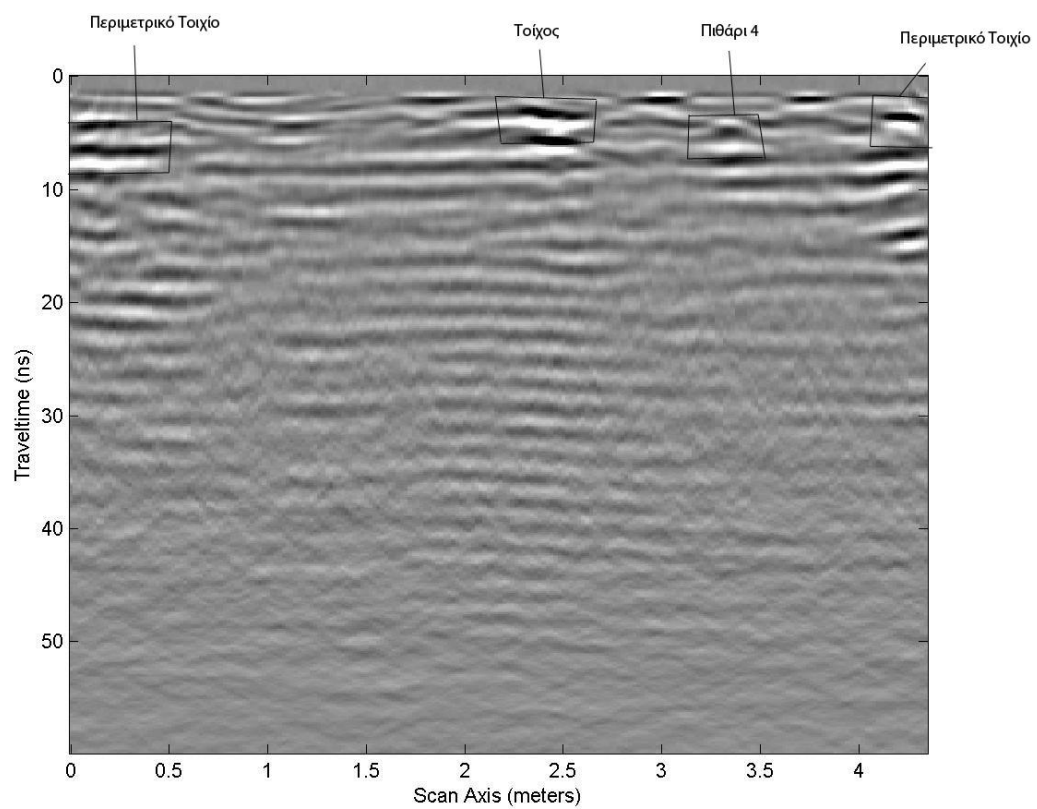
Γραμμή 10



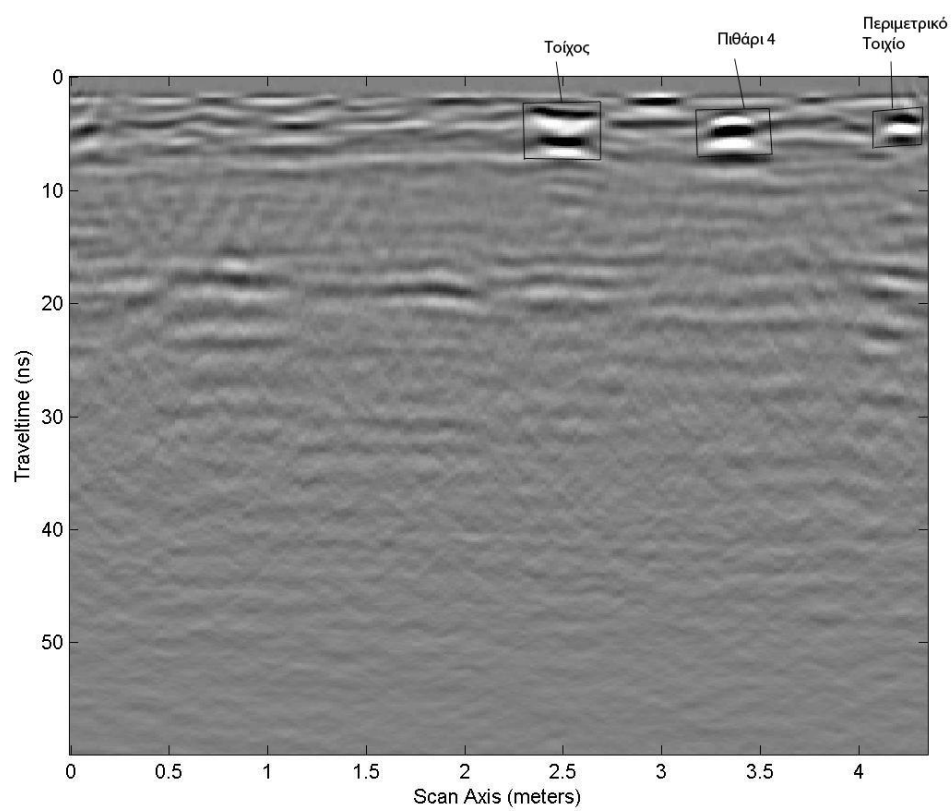
Γραμμή 11



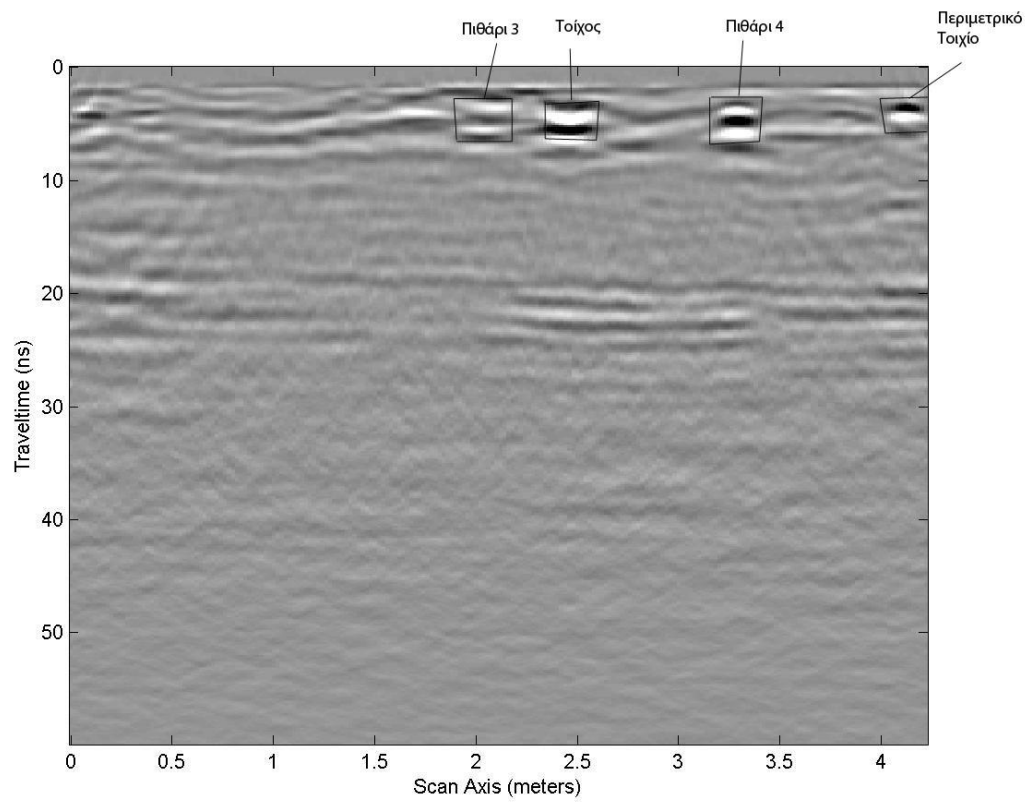
Γραμμή 12



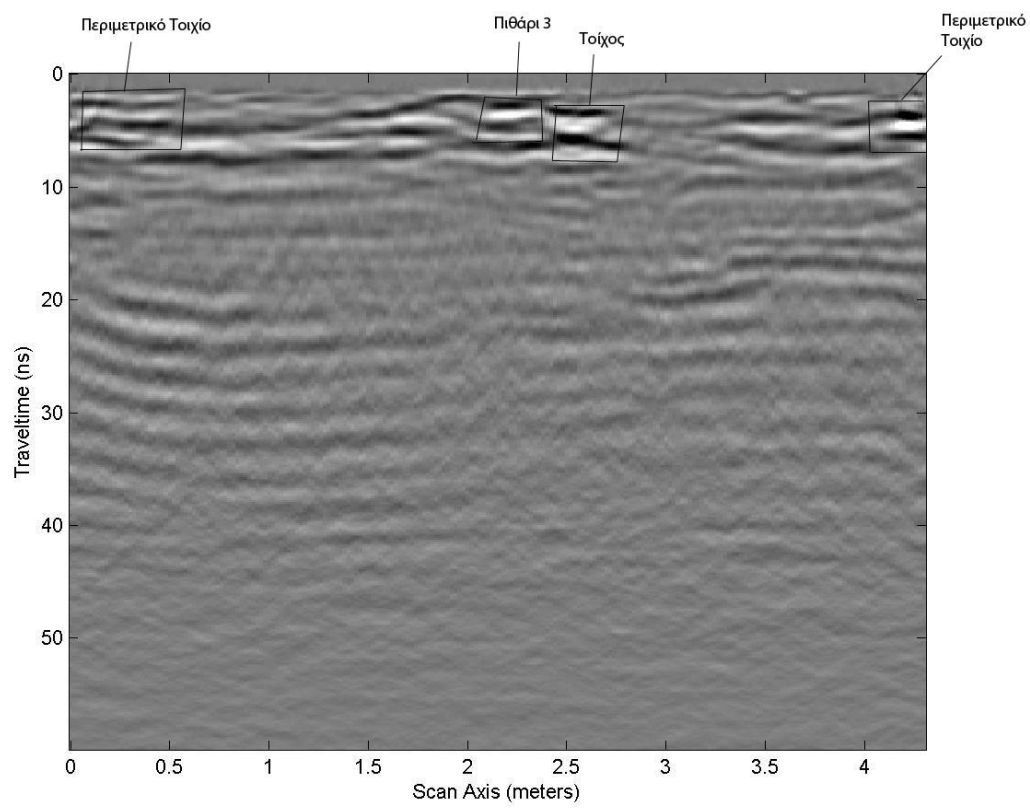
Γραμμή 13



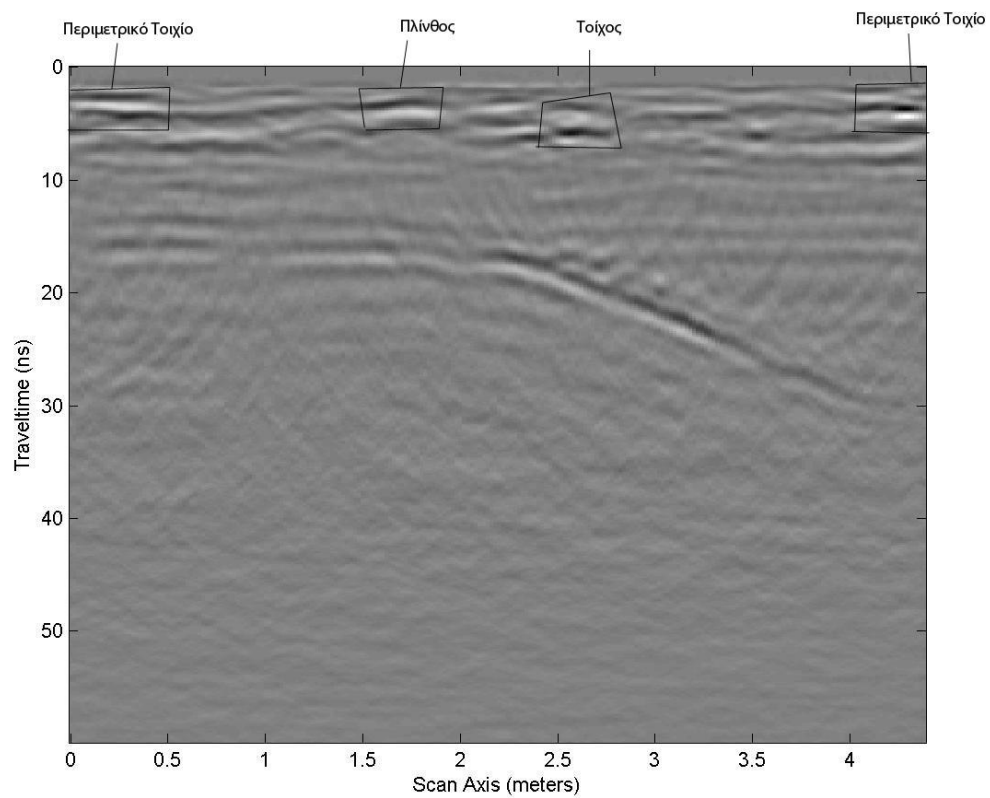
Γραμμή 14



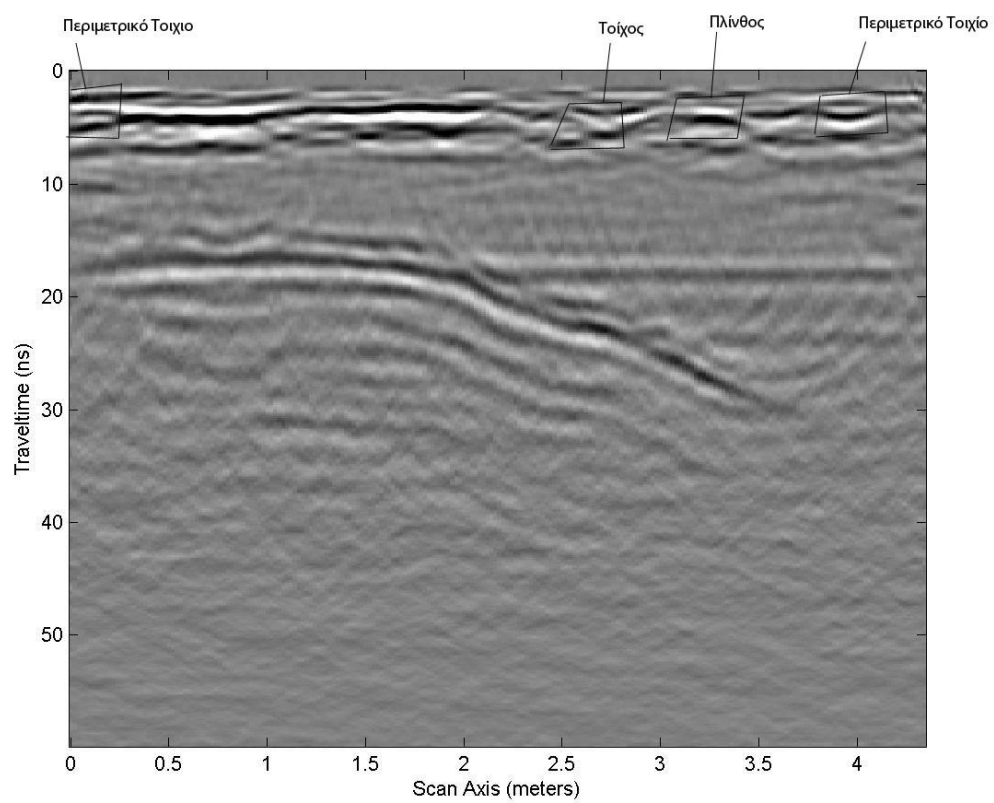
Γραμμή 15



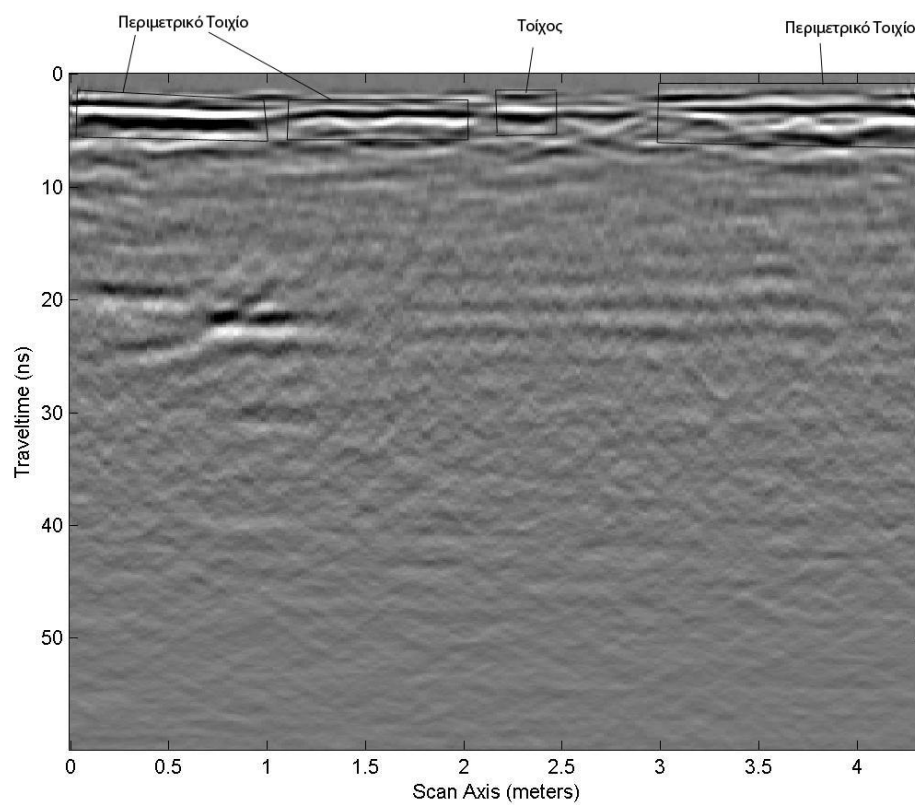
Γραμμή 16



Γραμμή 17

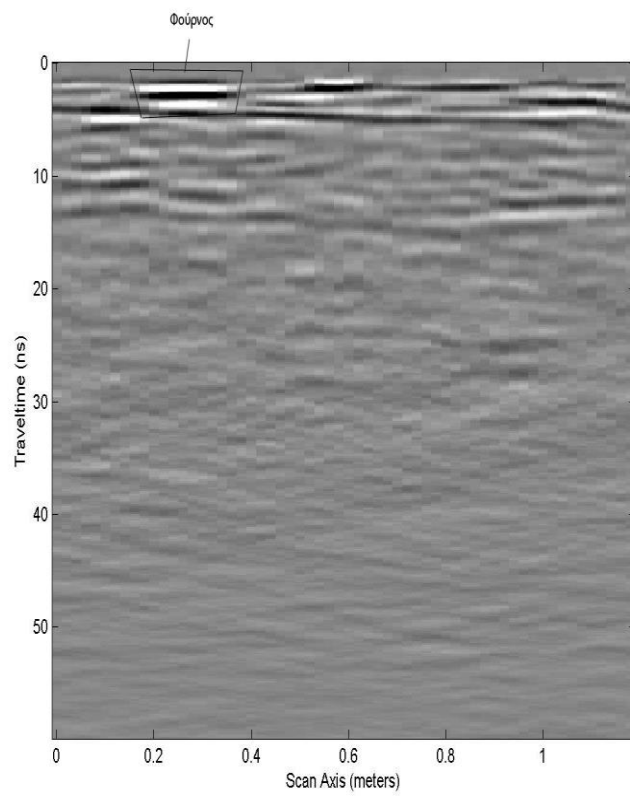


Γραμμή 18

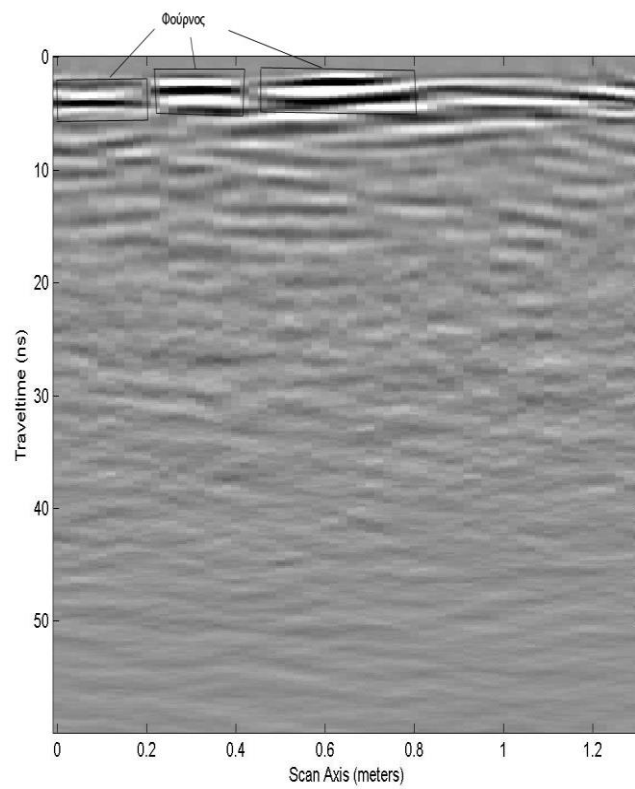


Γραμμή 19

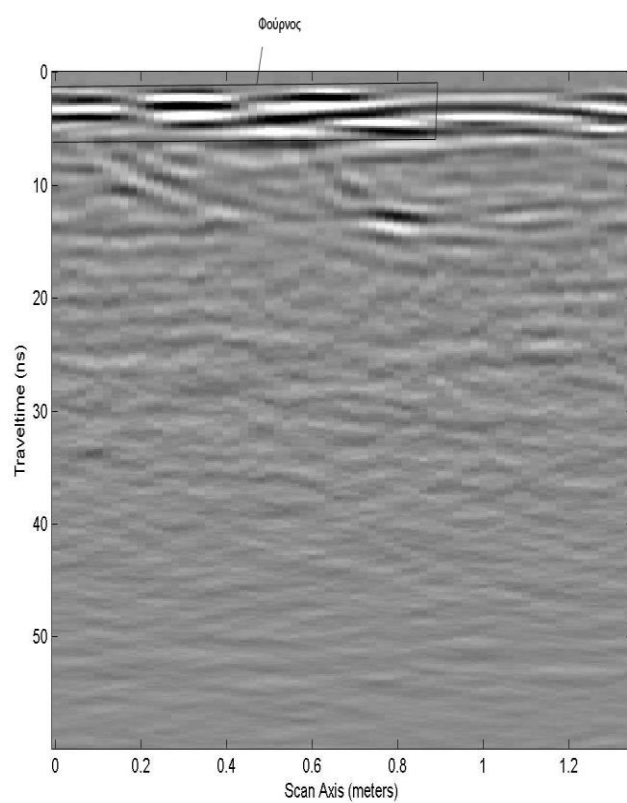
Grid 2 900 MHz



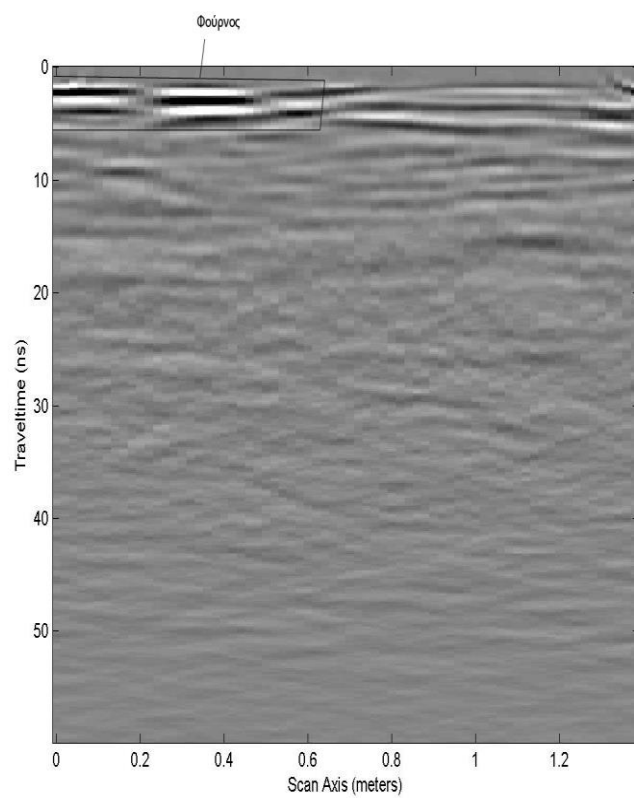
Γραμμή 1



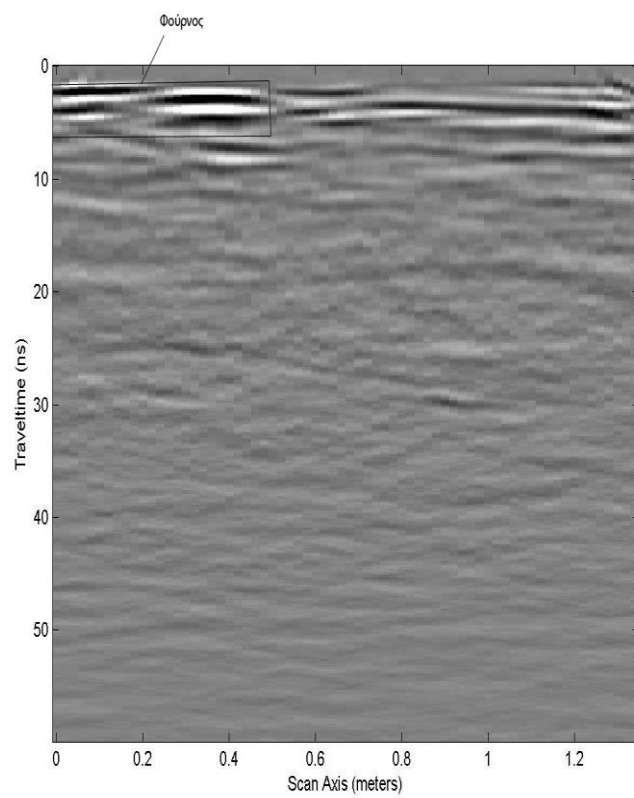
Γραμμή 2



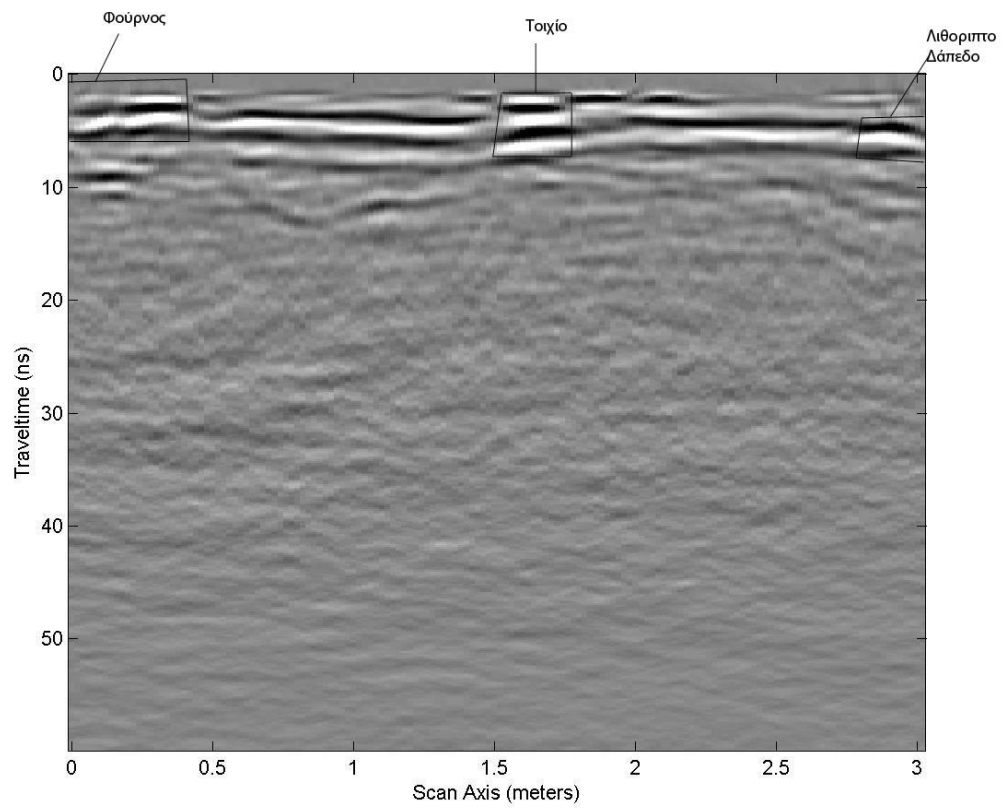
Γραμμή 3



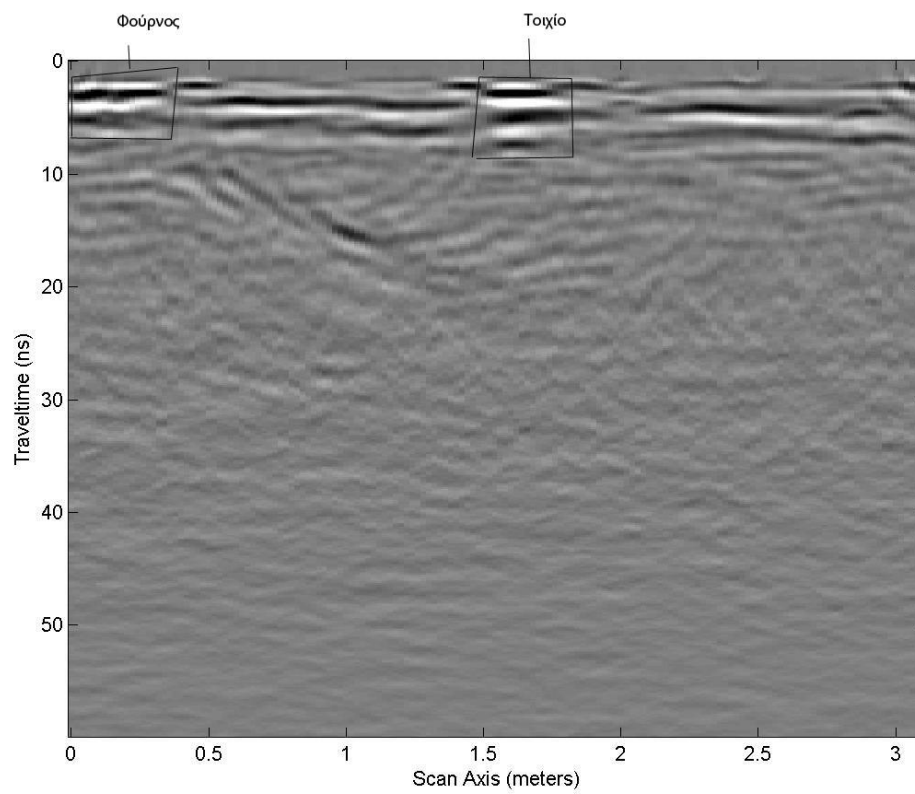
Γραμμή 4



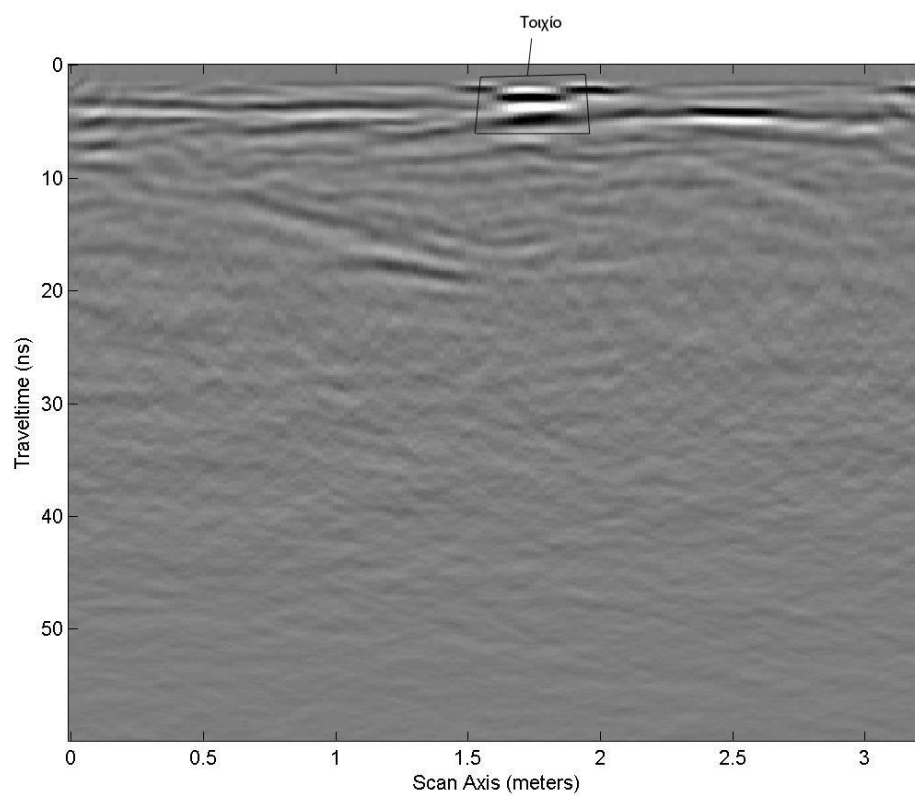
Γραμμή 5



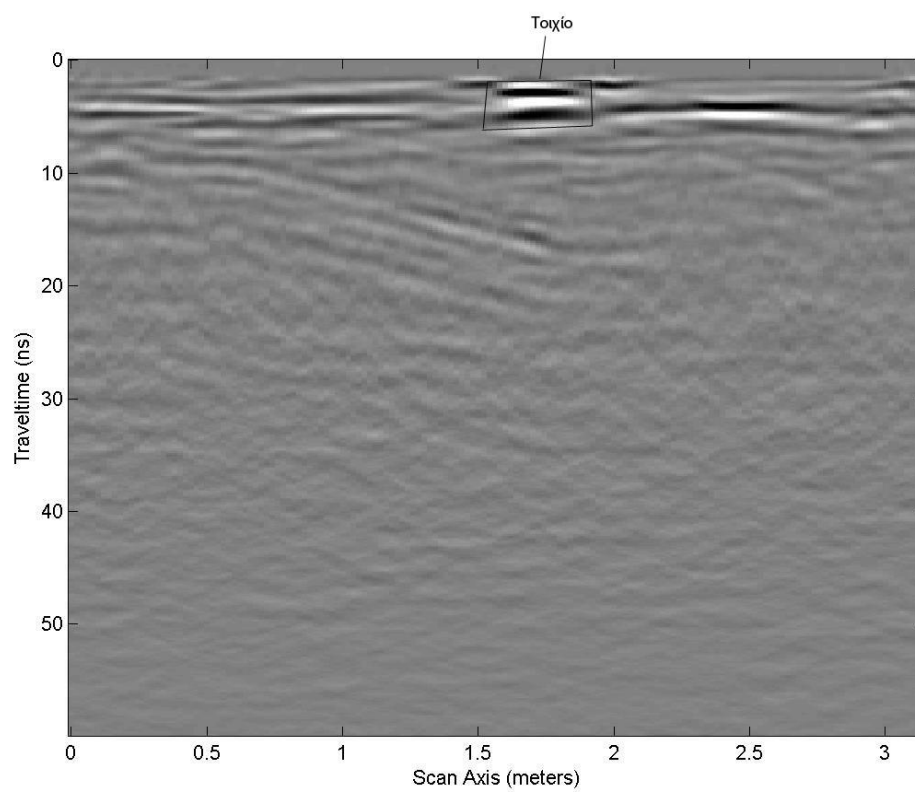
Γραμμή 6



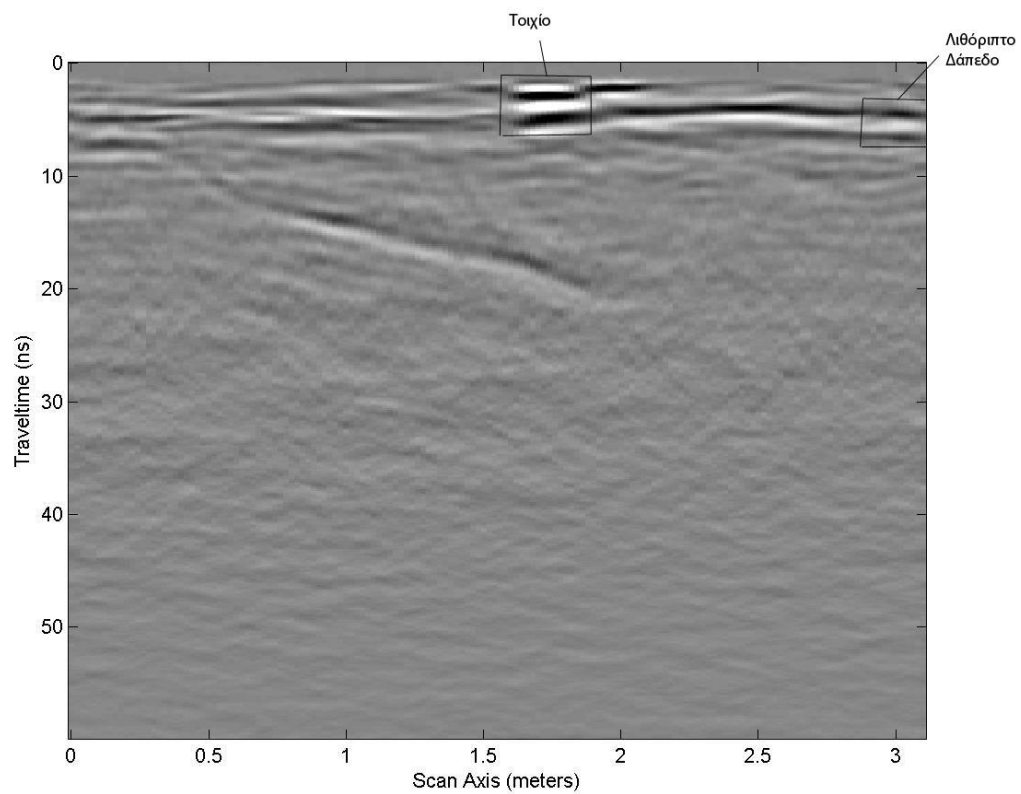
Γραμμή 7



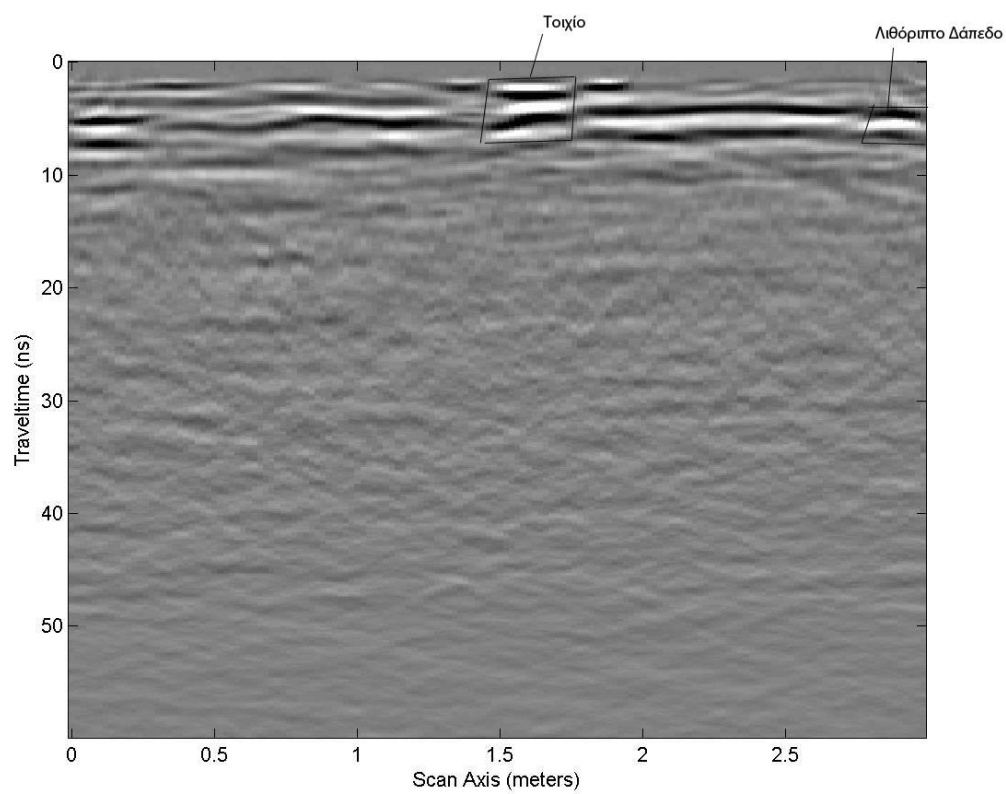
Γραμμή 8



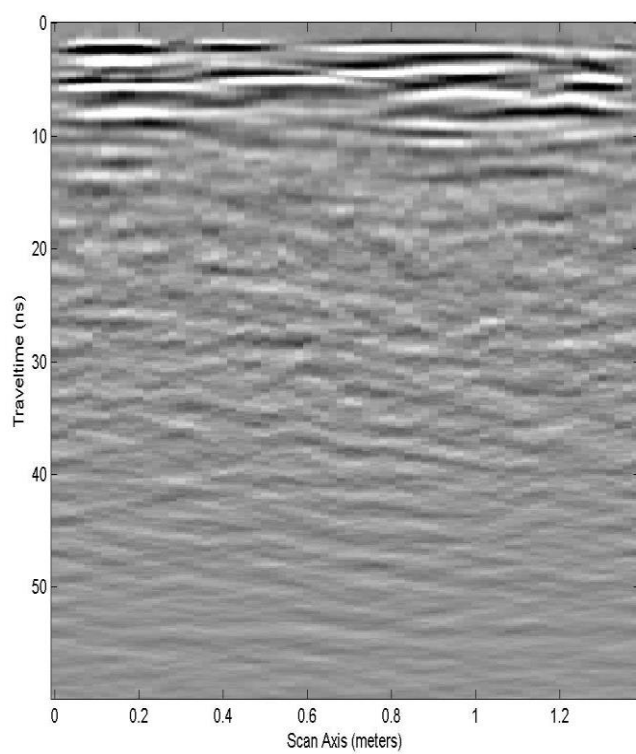
Γραμμή 9



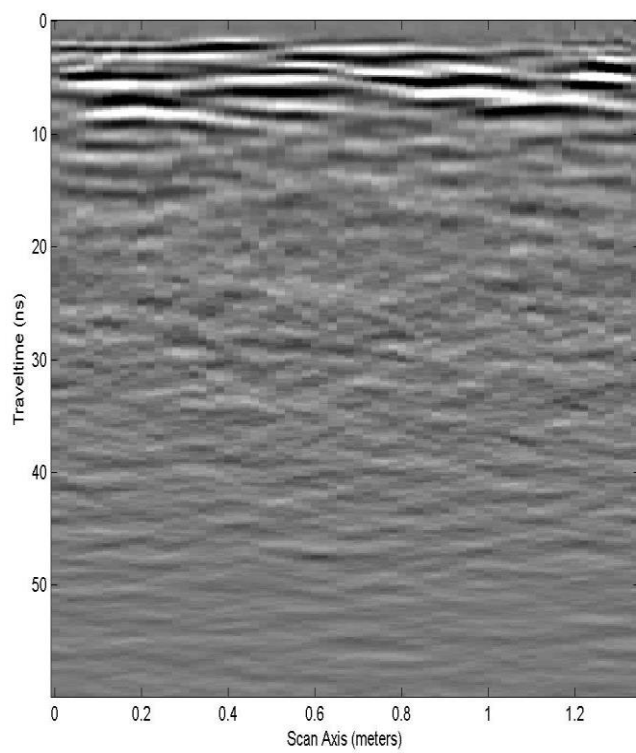
Γραμμή 10



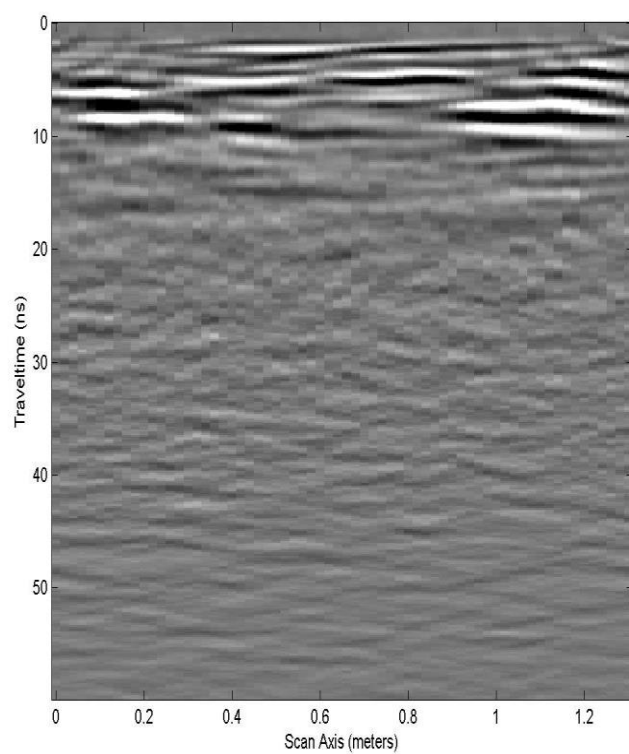
Γραμμή 11



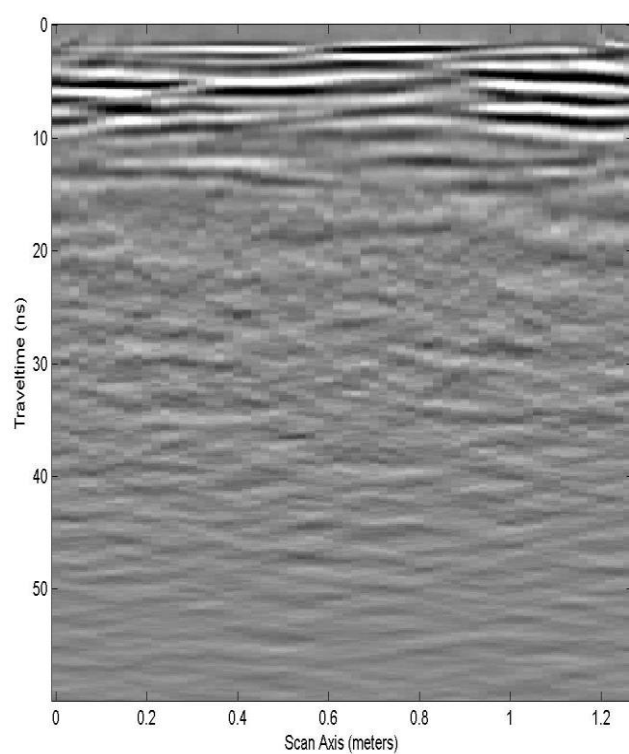
Γραμμή 12



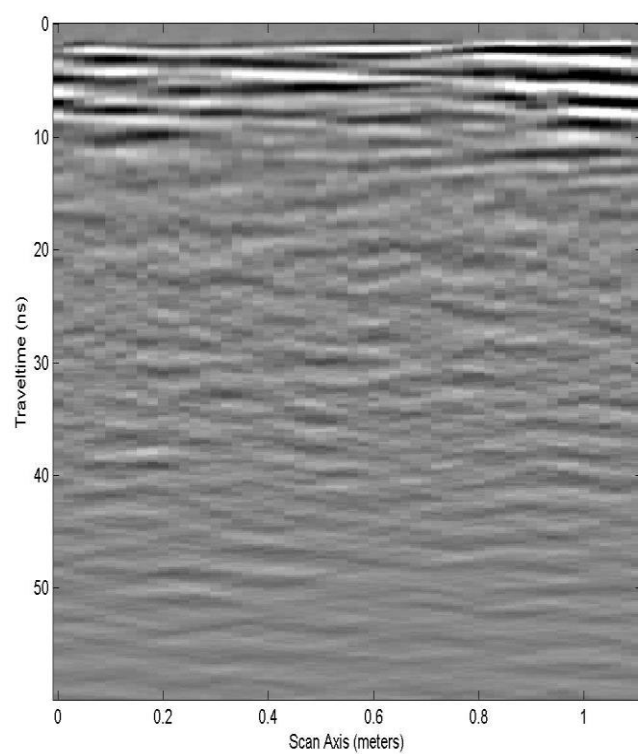
Γραμμή 13



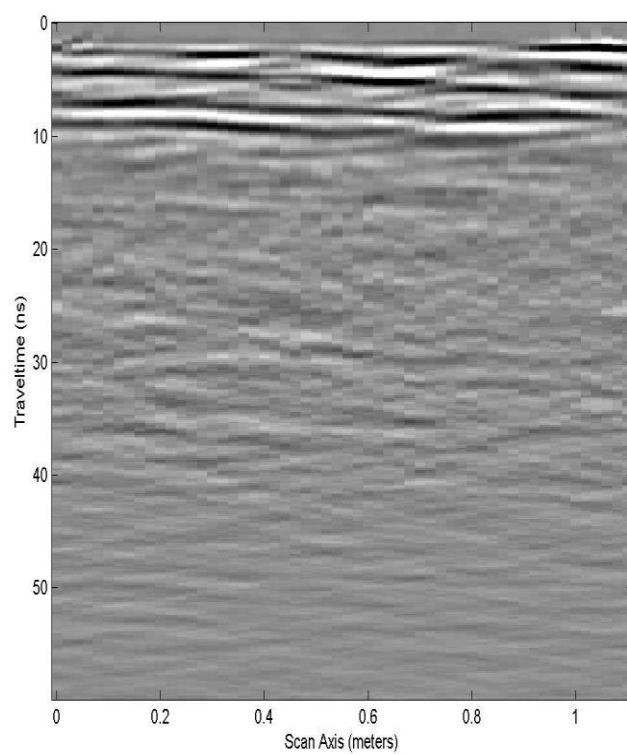
Γραμμή 14



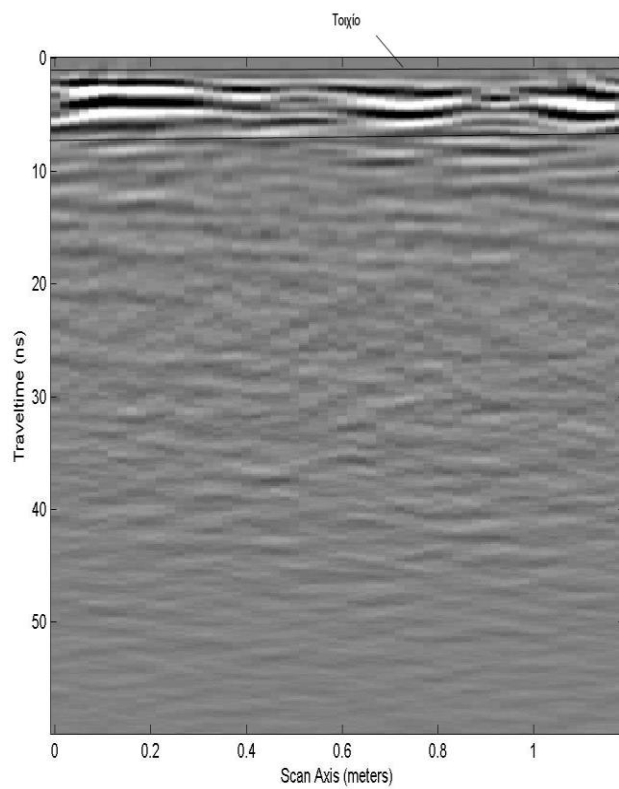
Γραμμή 15



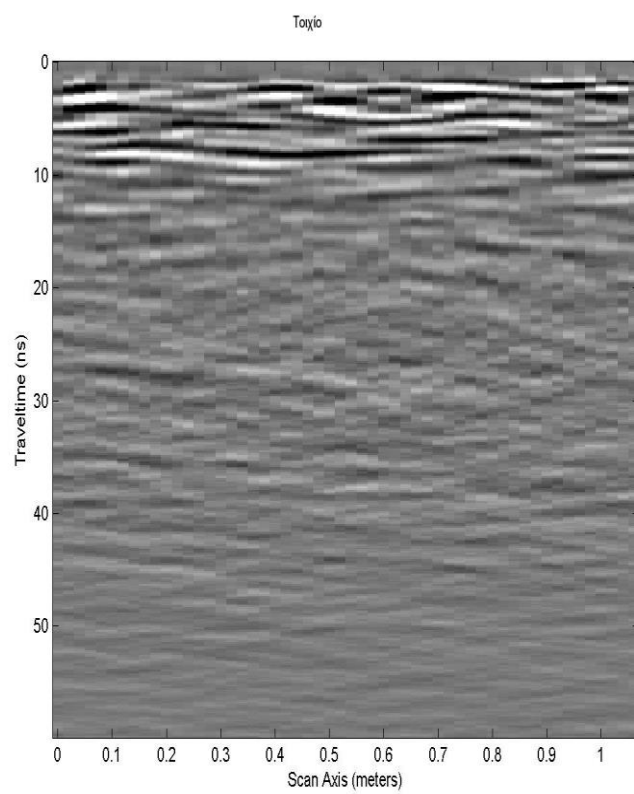
Γραμμή 16



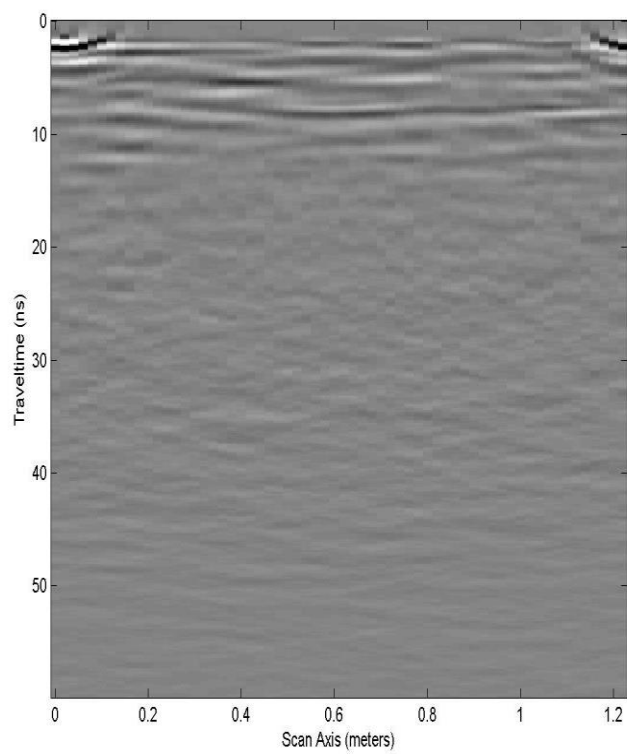
Γραμμή 17



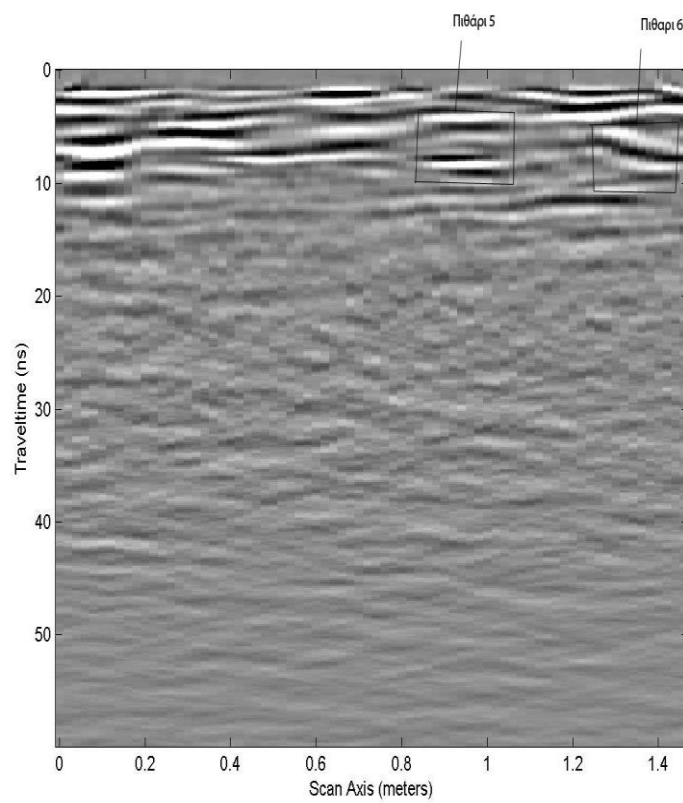
Γραμμή 18



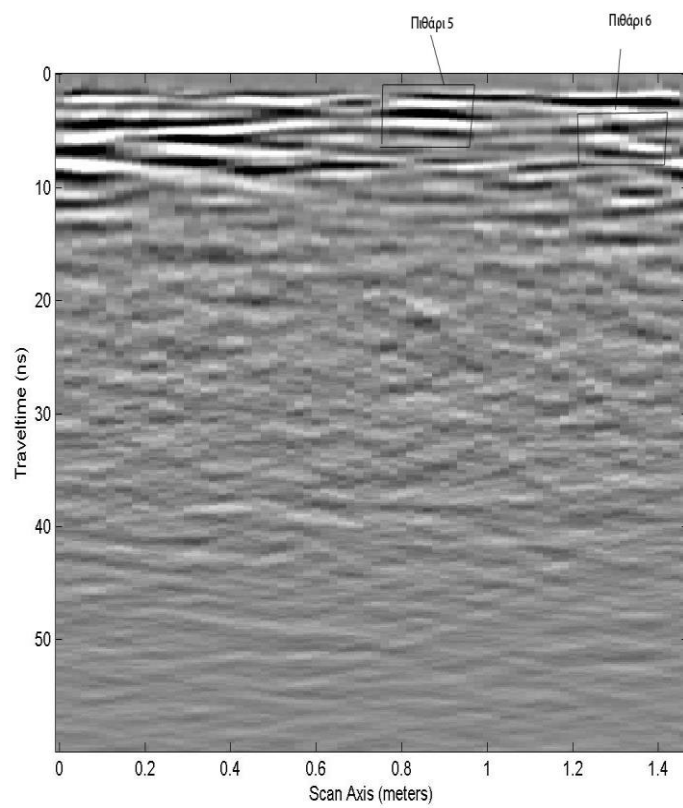
Γραμμή 19



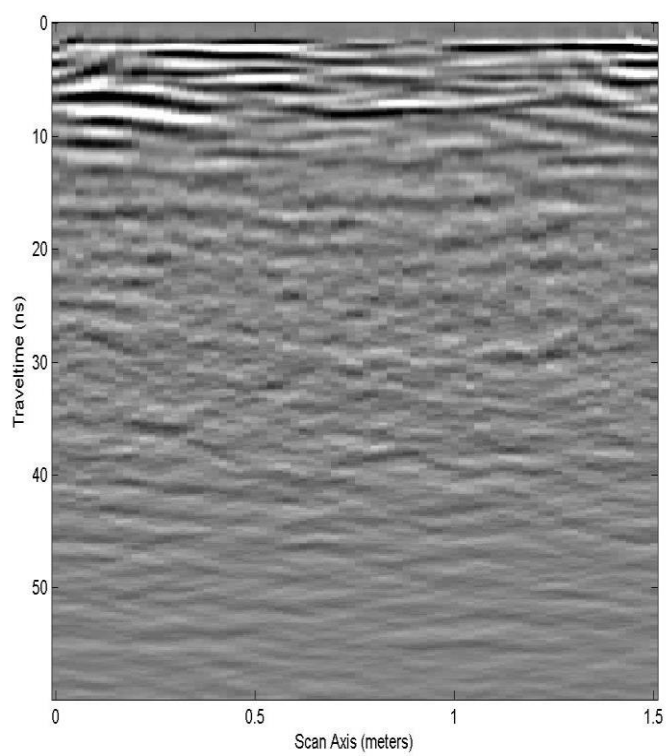
Γραμμή 20



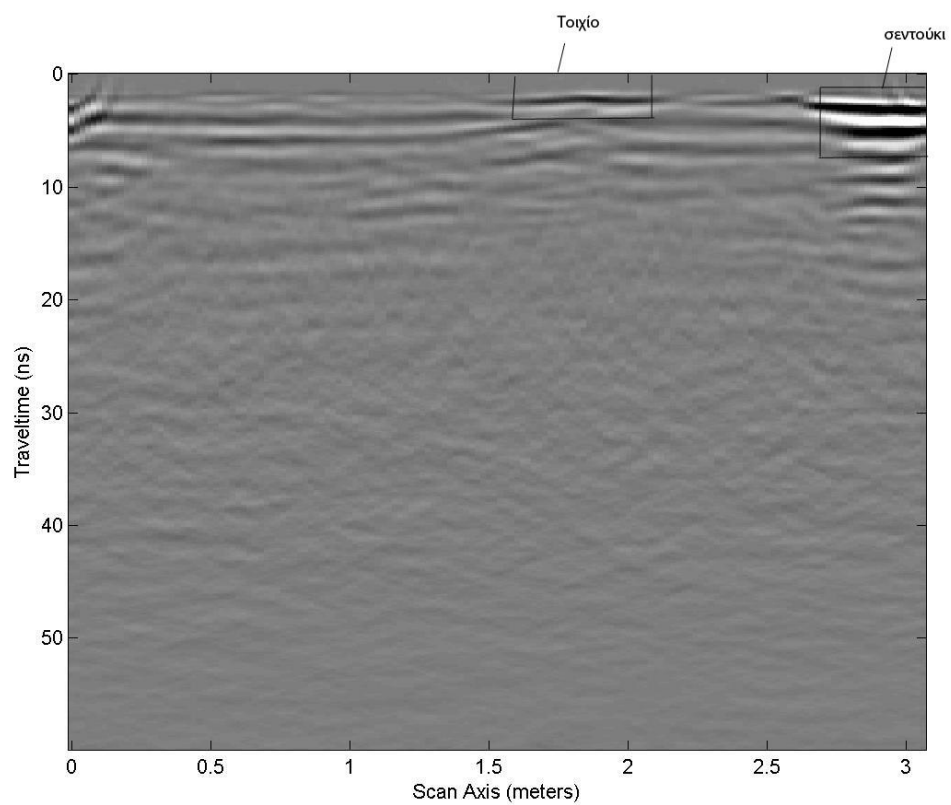
Γραμμή 21



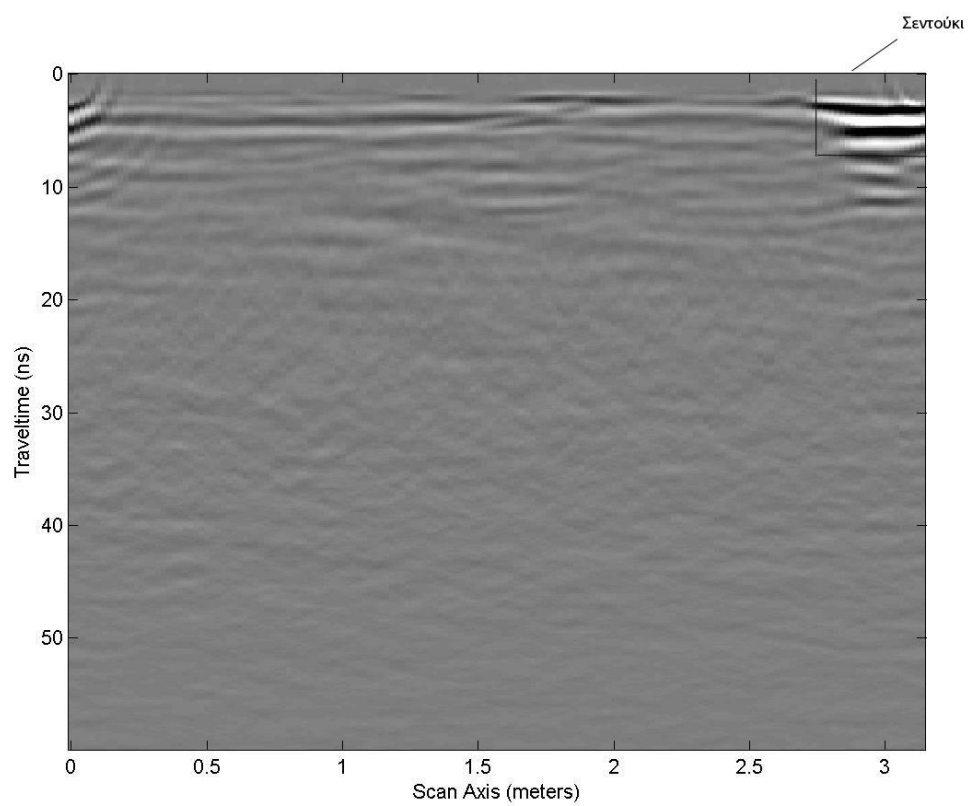
Γραμμή 22



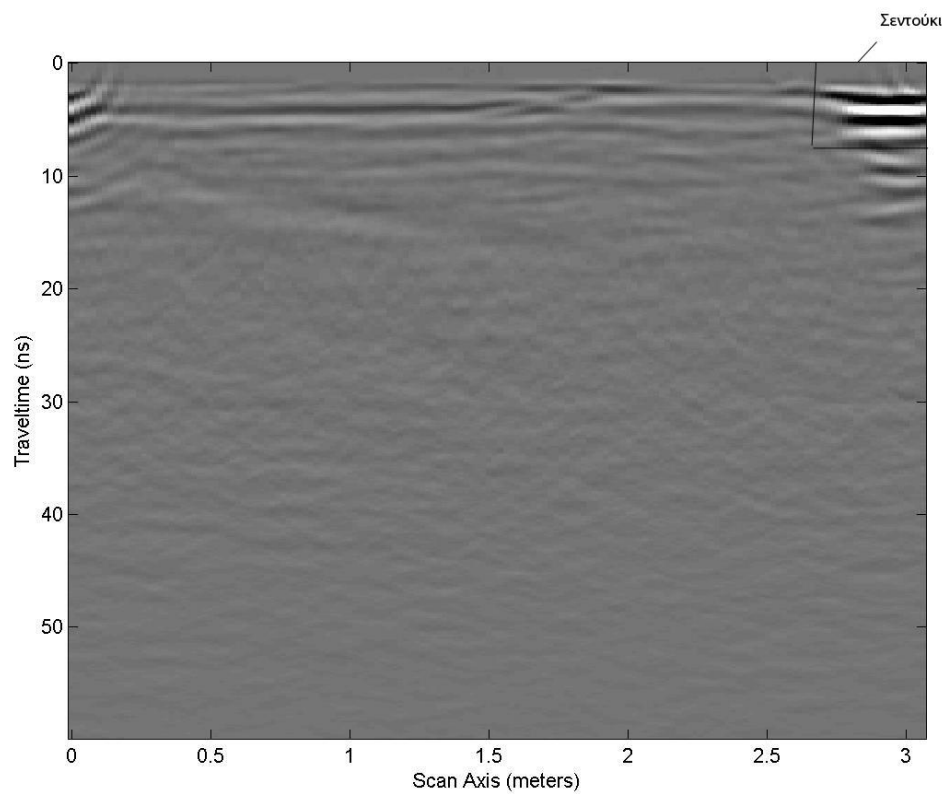
Γραμμή 23



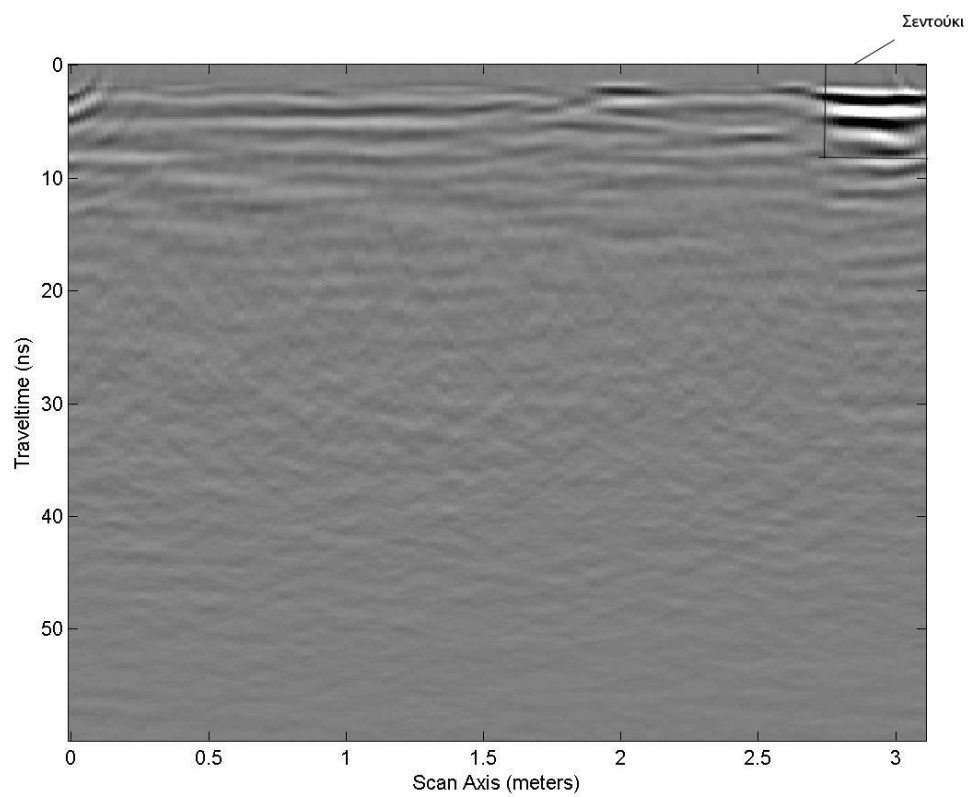
Γραμμή 24



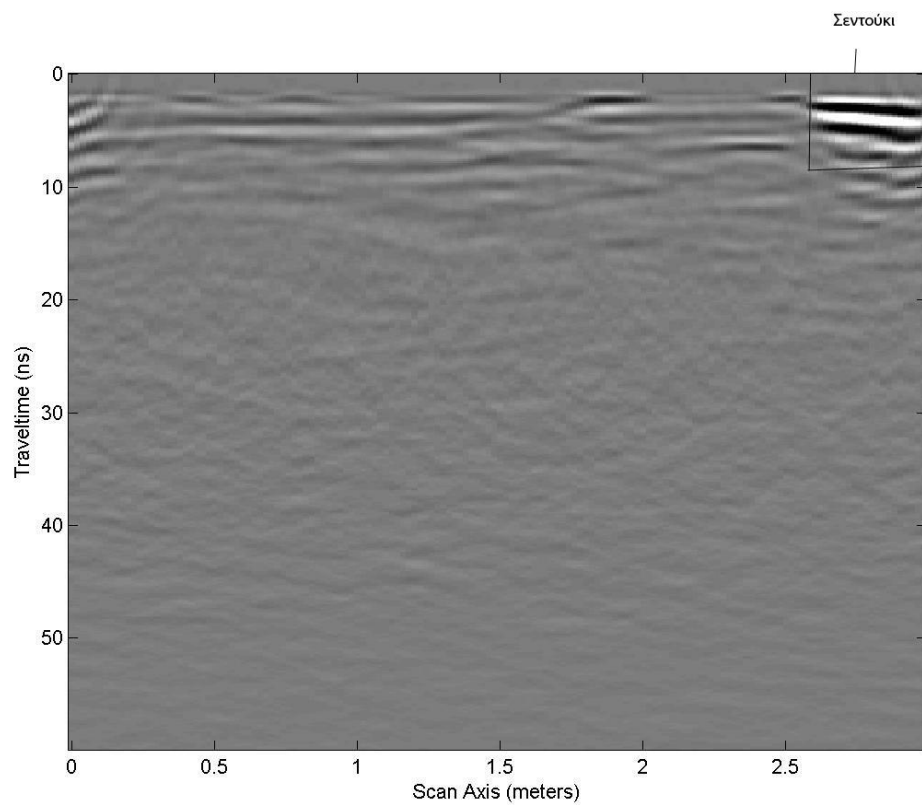
Γραμμή 25



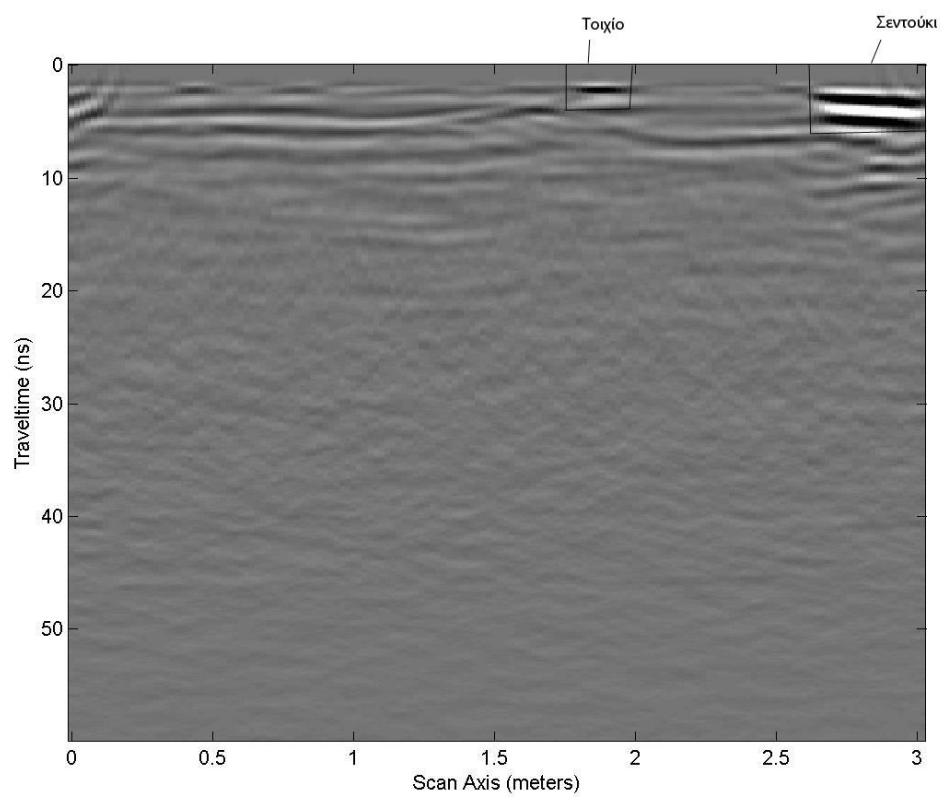
Γραμμή 26



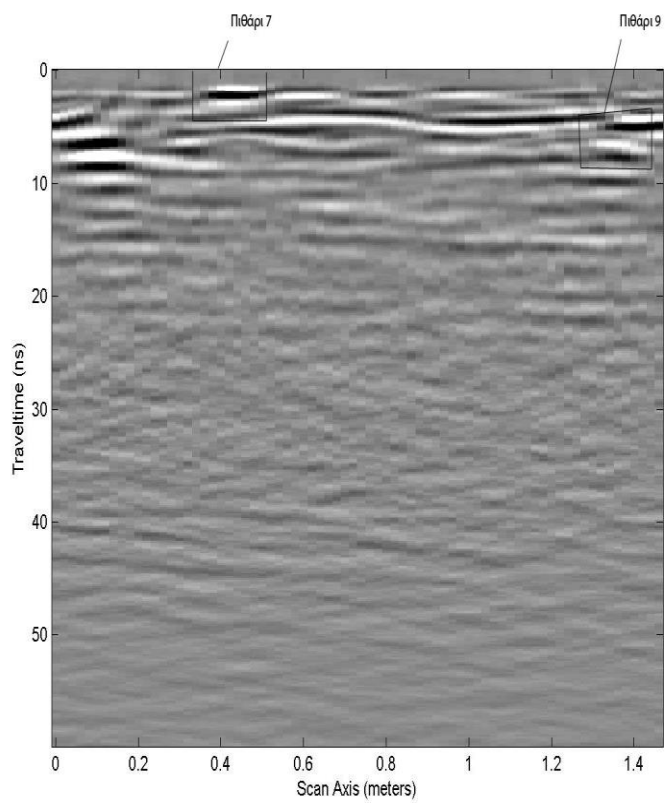
Γραμμή 27



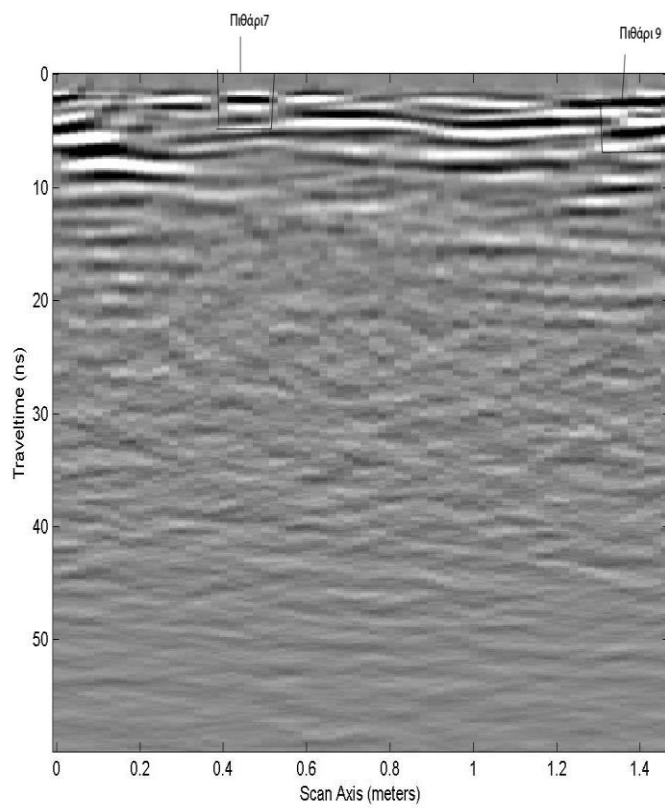
Γραμμή 28



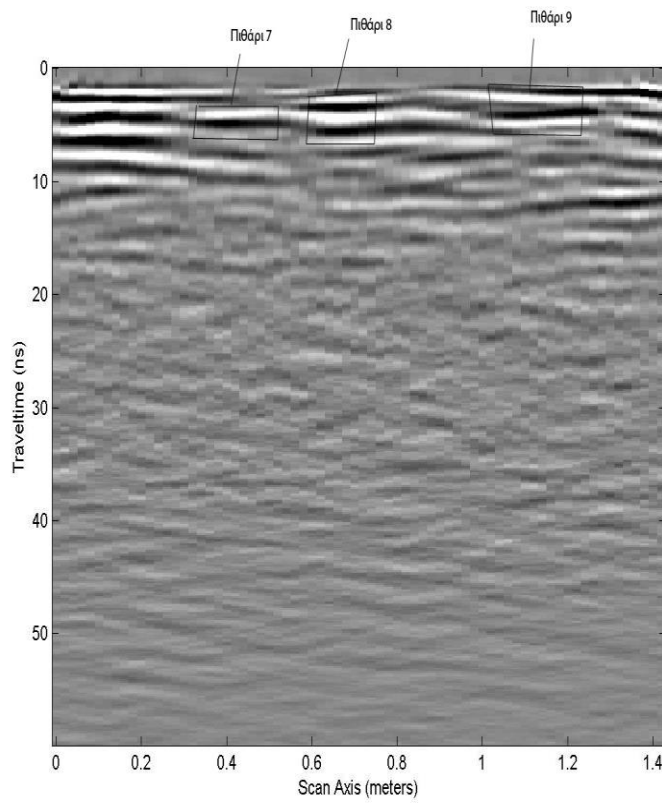
Γραμμή 29



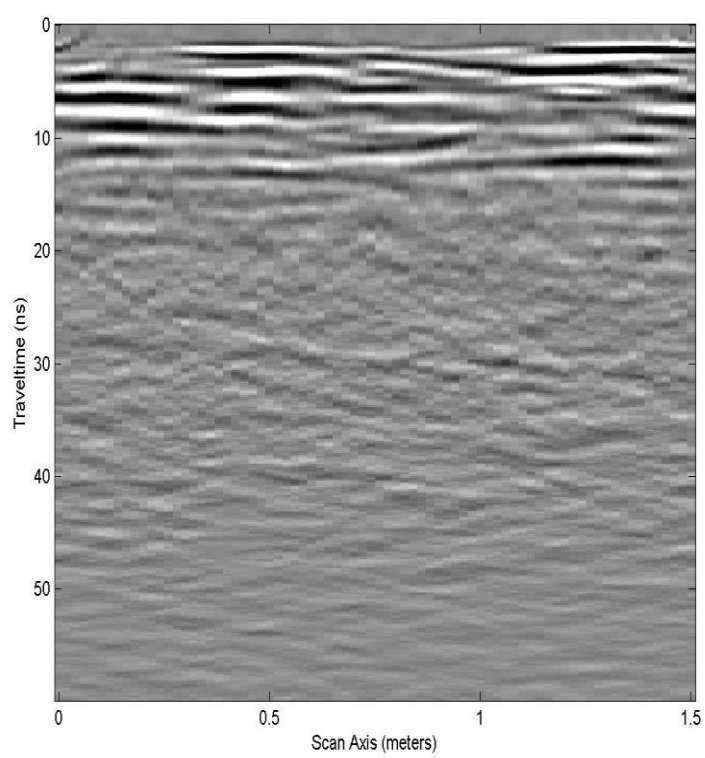
Γραμμή 30



Γραμμή 31



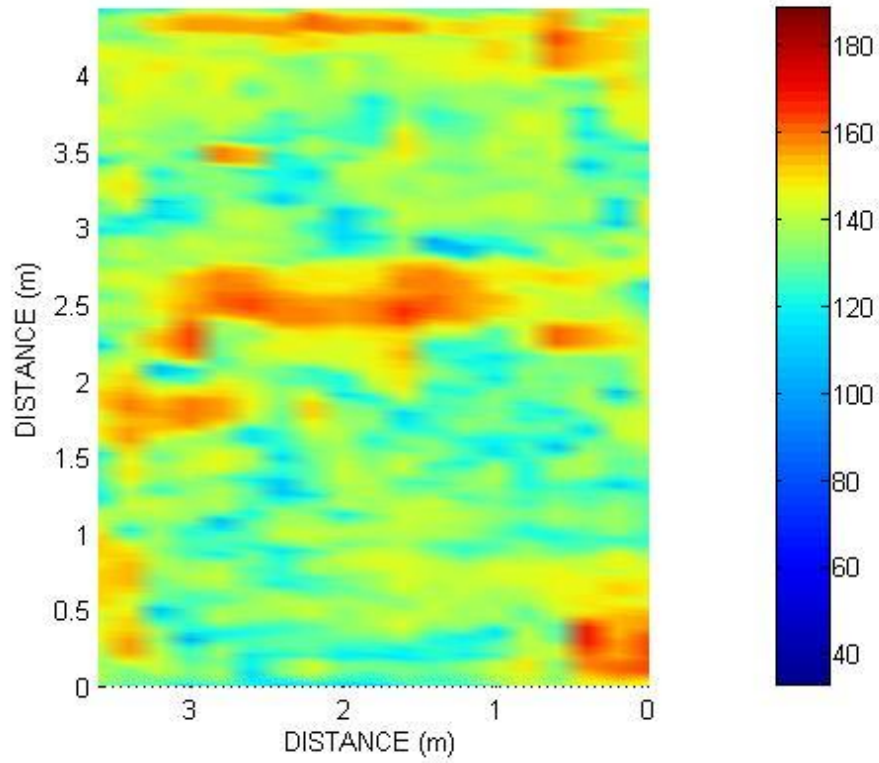
Γραμμή 32



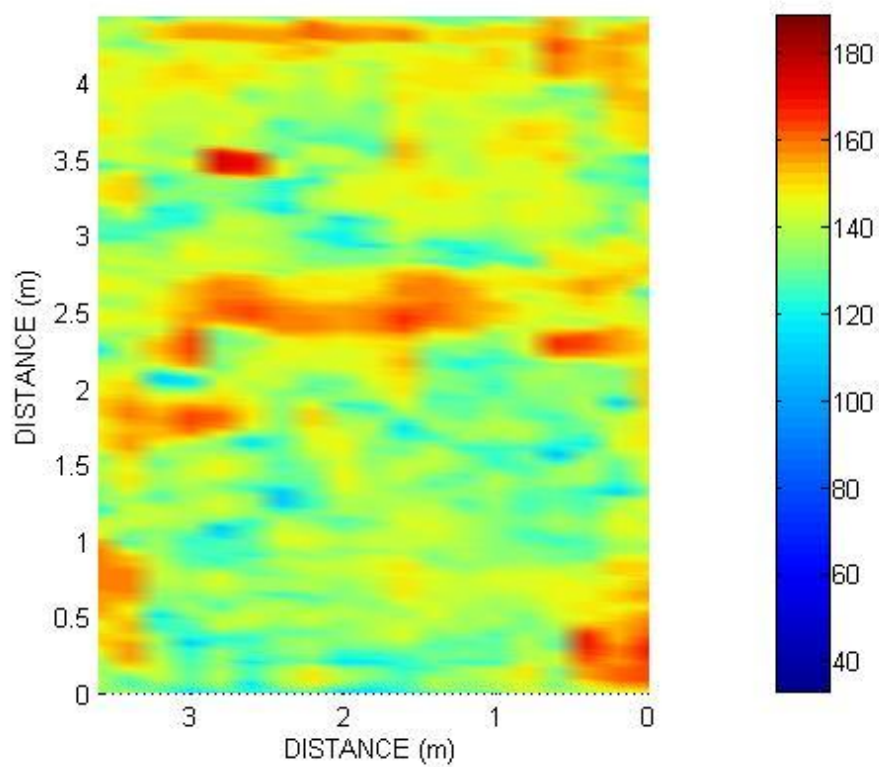
Γραμμή 33

Παράρτημα Β : Οριζόντιες Τομές

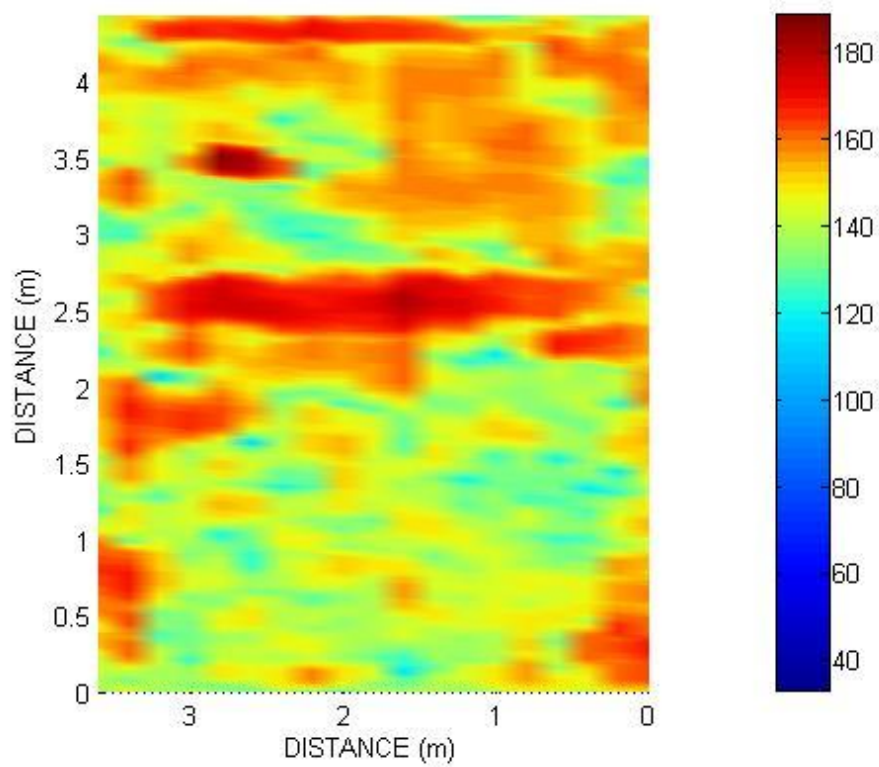
Grid 1 400 MHz



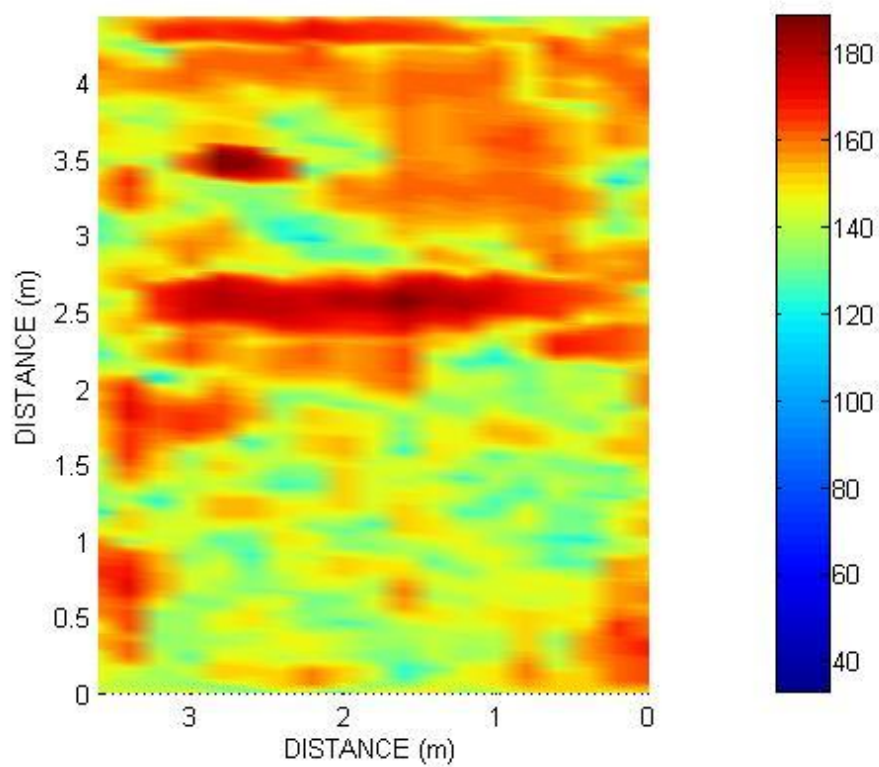
Οριζόντια Τομή Grid 1 400 MHz 3,5 ns



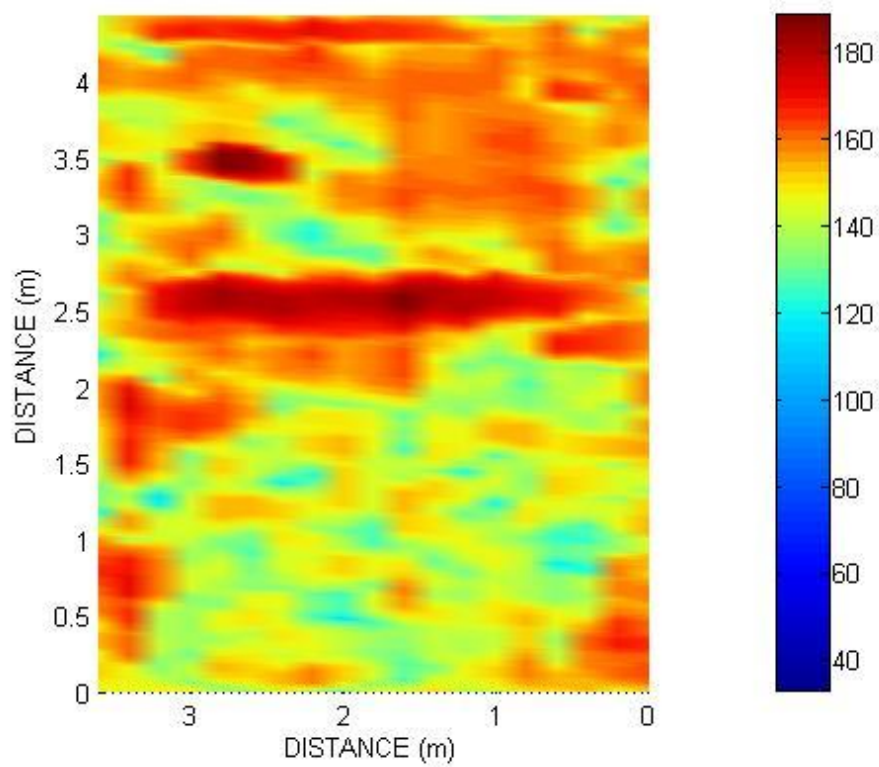
Οριζόντια Τομή Grid 1 400 MHz 4 ns



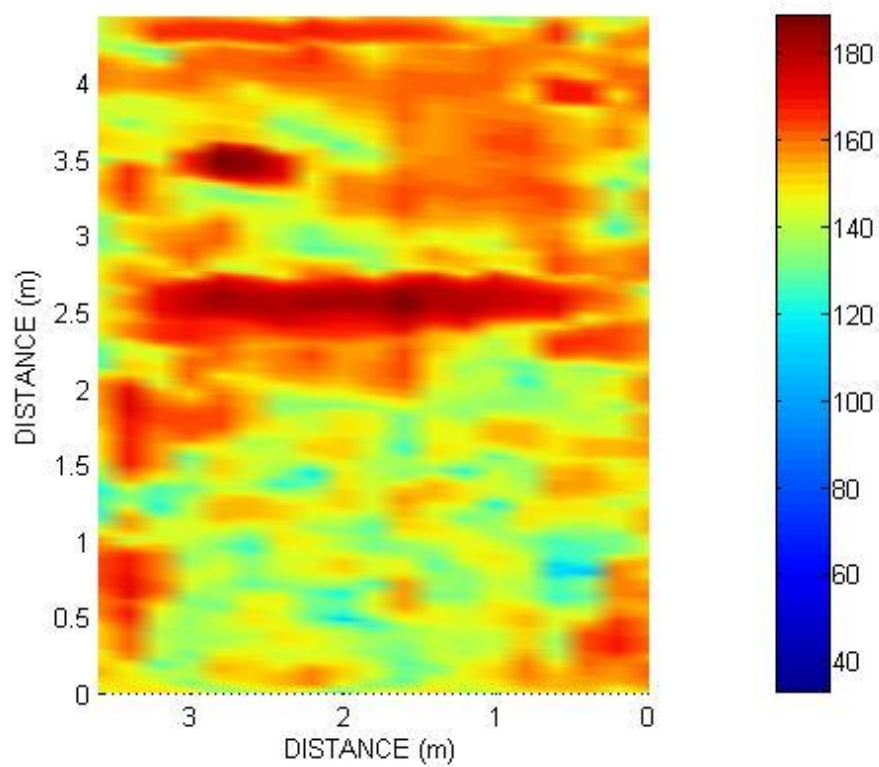
Οριζόντια Τομή Grid 1 400 MHz 4,5 ns



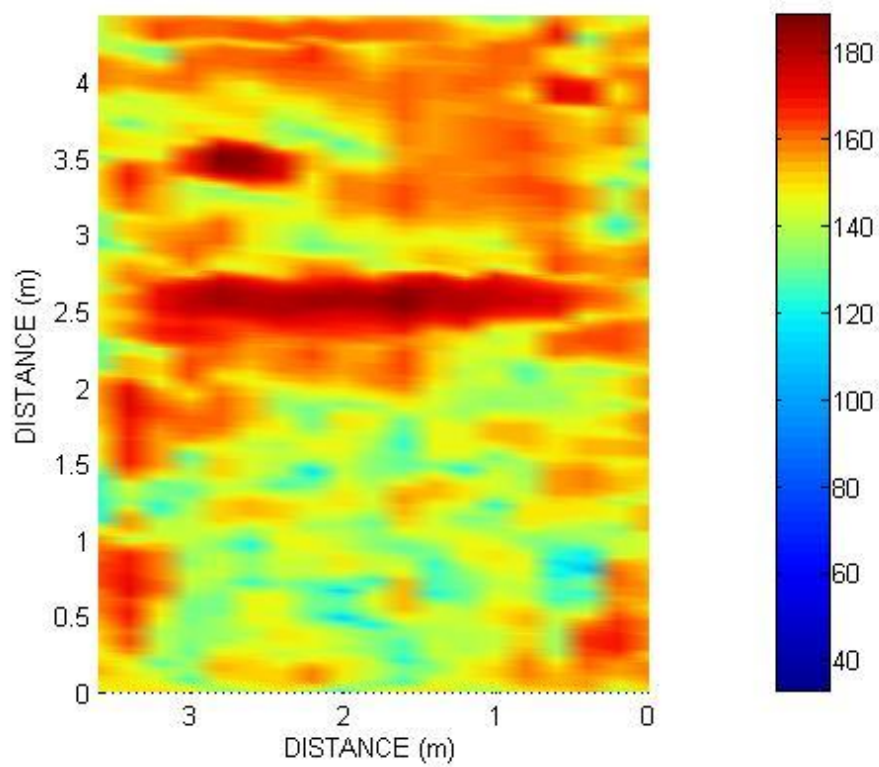
Οριζόντια Τομή Grid 1 400 MHz 5 ns



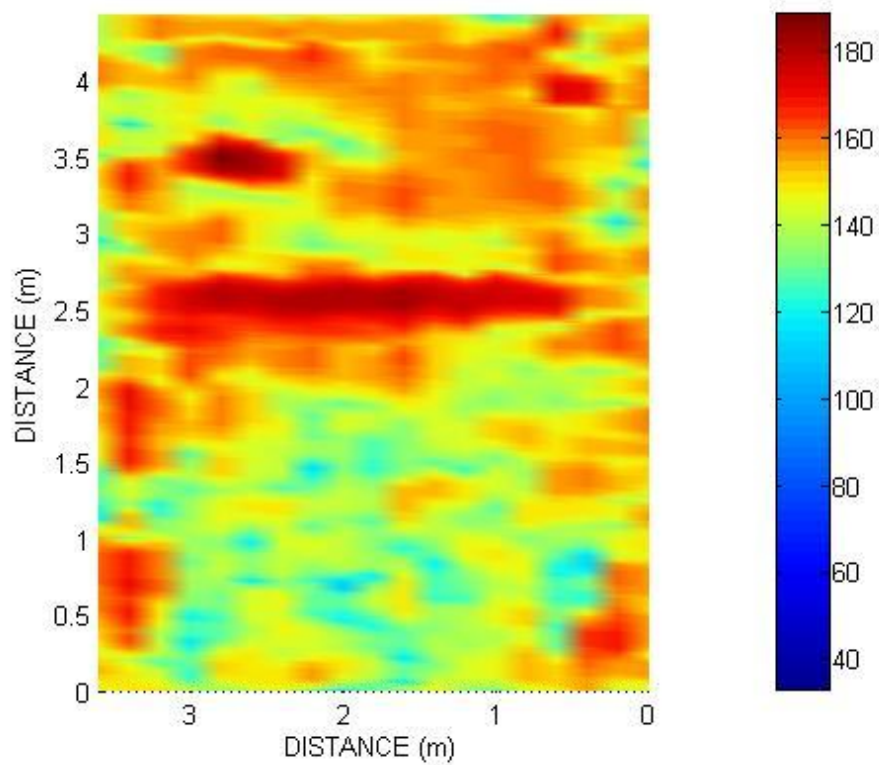
Οριζόντια Τομή Grid 1 400 MHz 5,5 ns



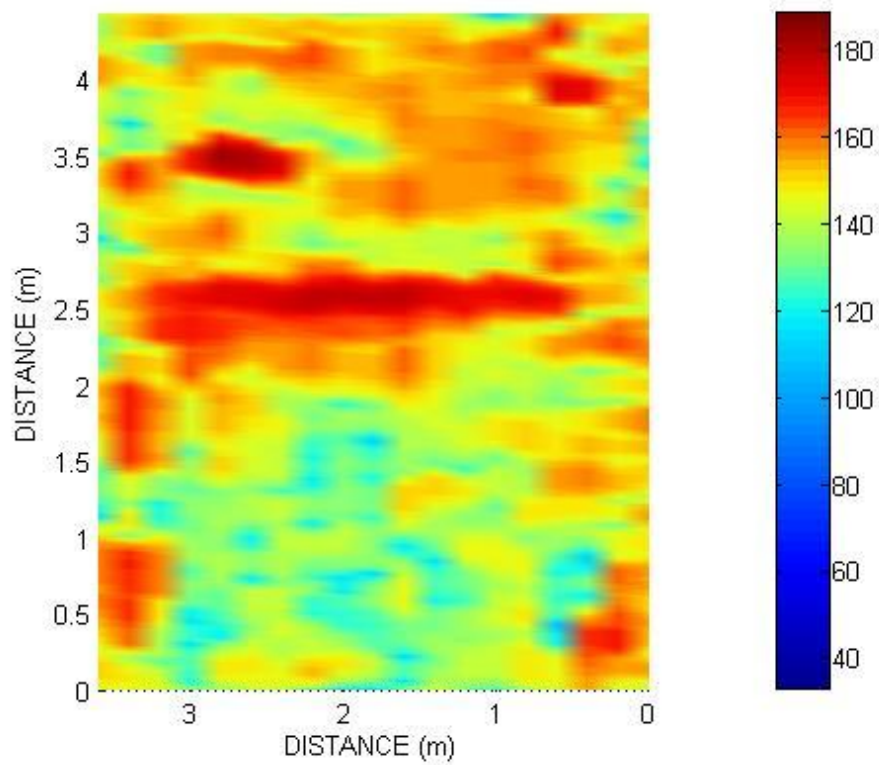
Οριζόντια Τομή Grid 1 400 MHz 6 ns



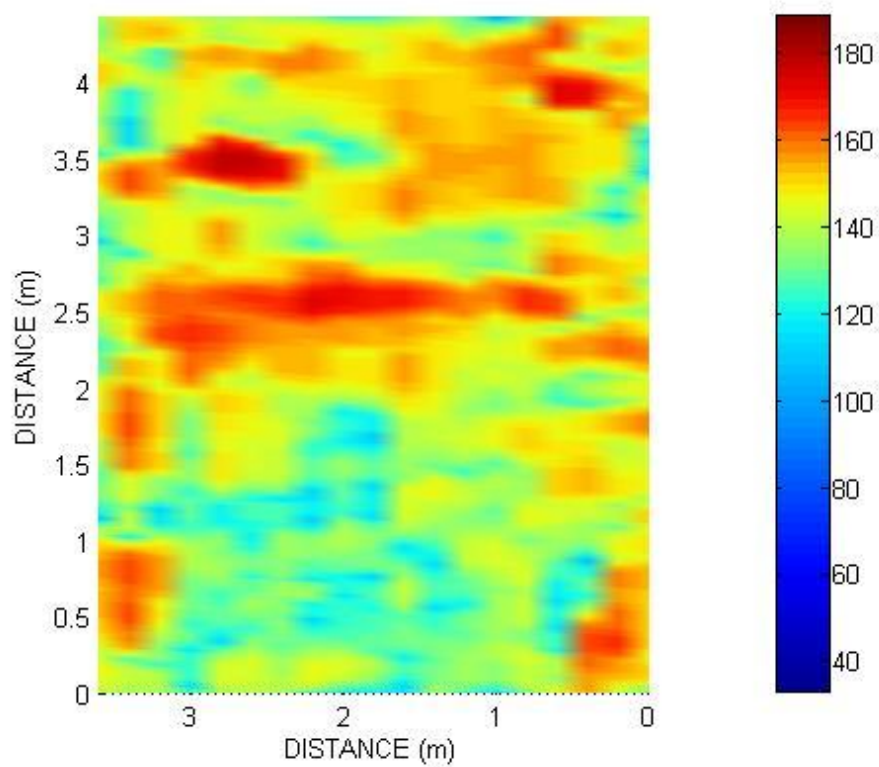
Οριζόντια Τομή Grid 1 400 MHz 6,5 ns



Οριζόντια Τομή Grid 1 400 MHz 7 ns

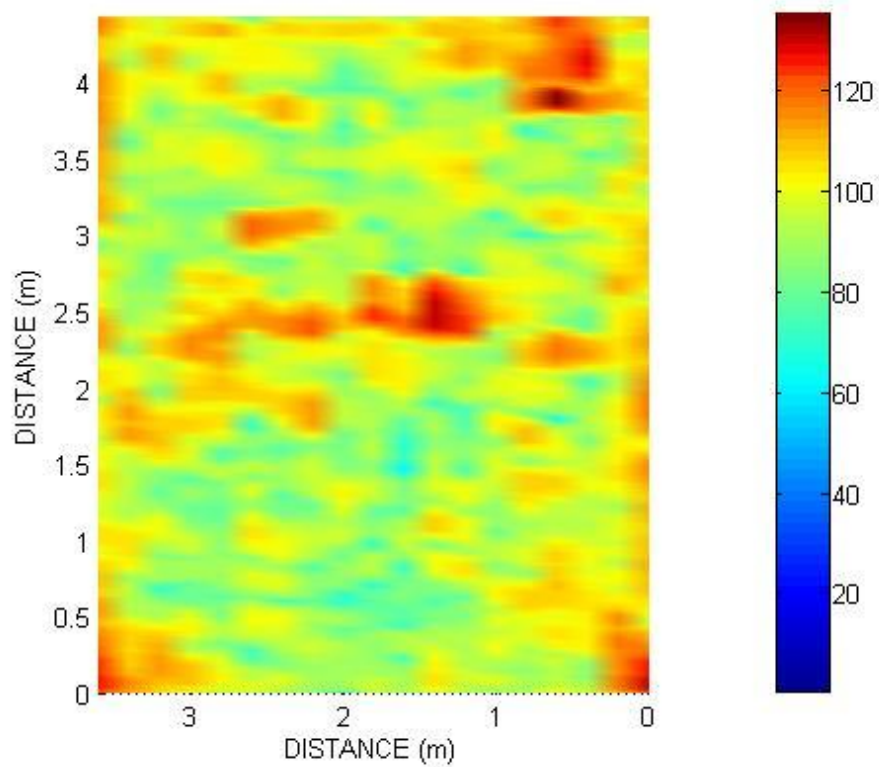


Οριζόντια Τομή Grid 1 400 MHz 7,5 ns

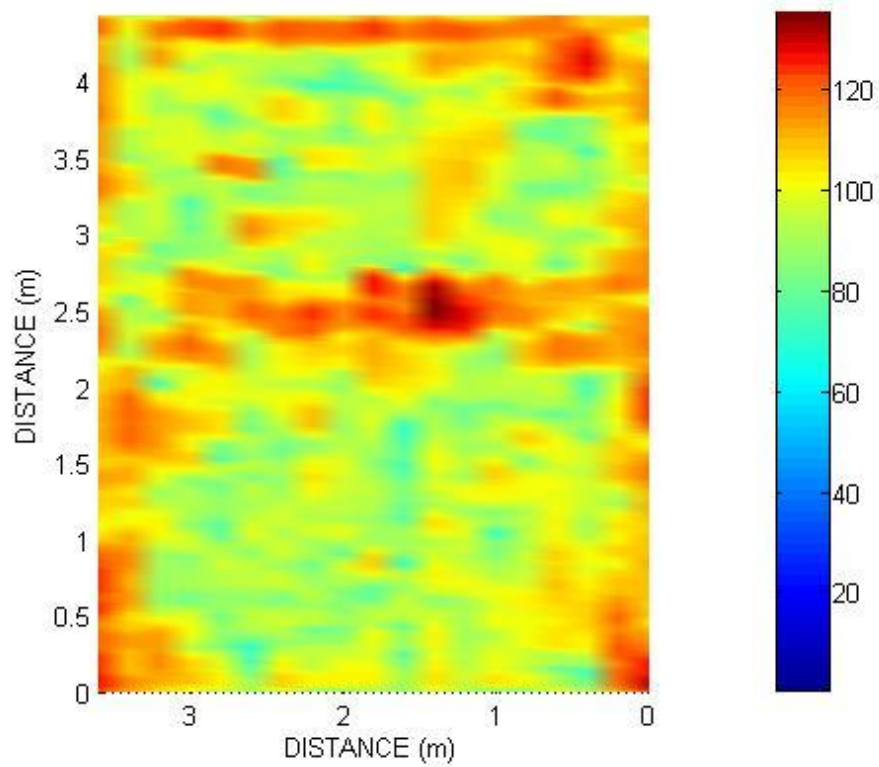


Οριζόντια Τομή Grid 1 400 MHz 8 ns

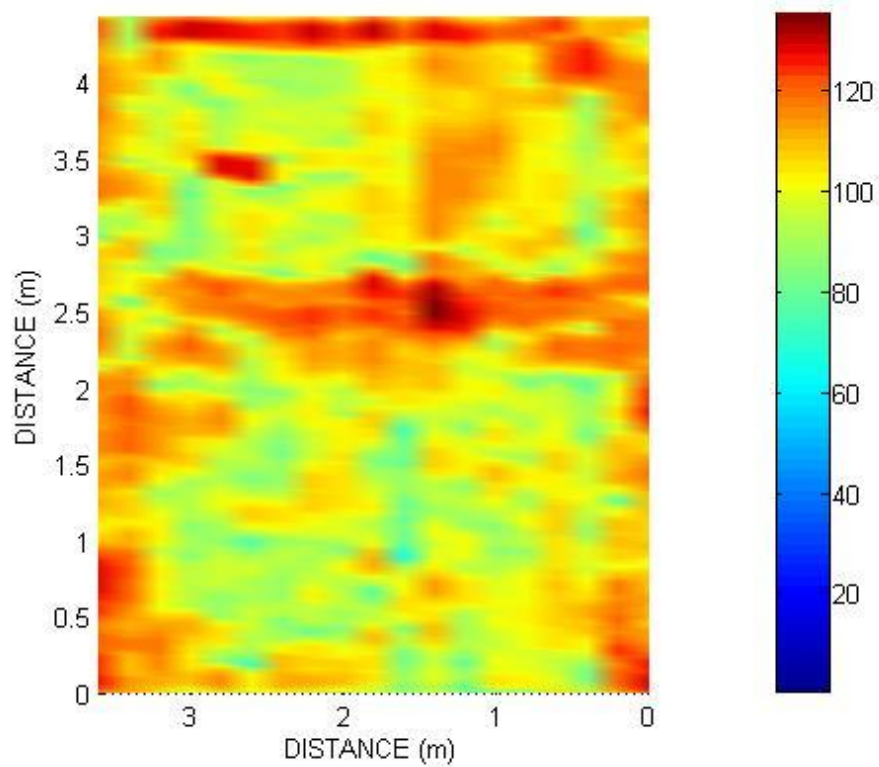
Οριζόντιες Τομές Grid 1 900 MHz



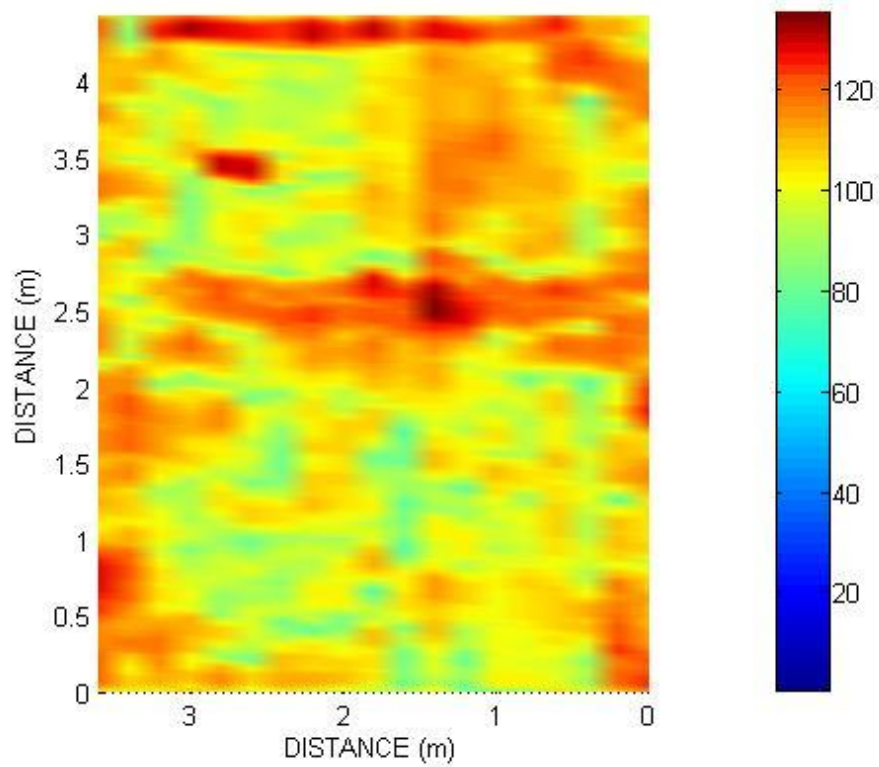
Οριζόντια Τομή Grid 1 900 MHz 2,5 ns



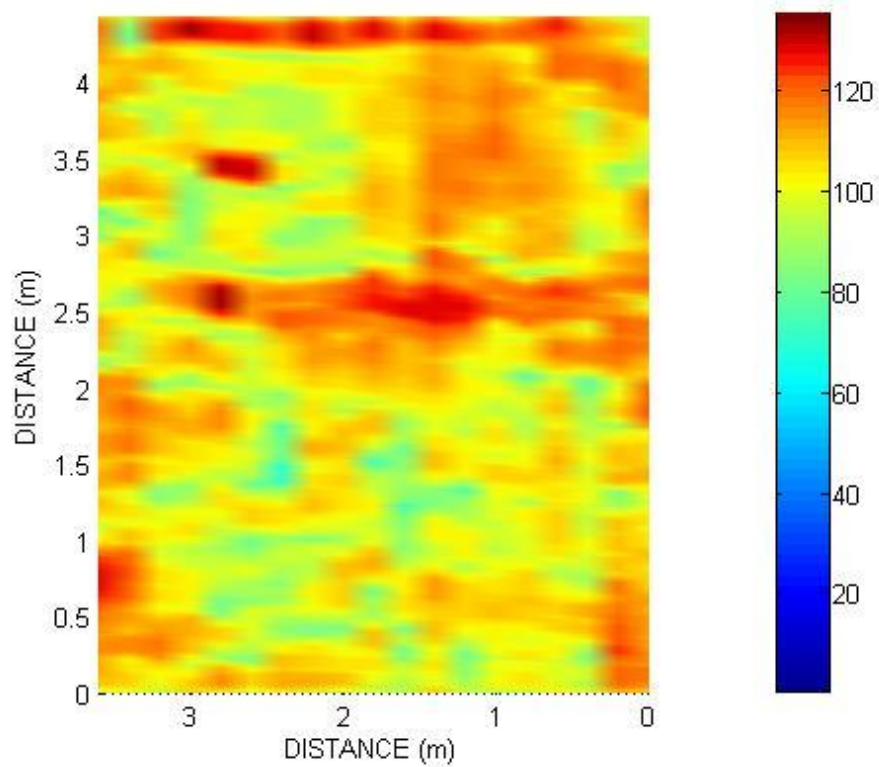
Οριζόντια Τομή Grid 1 900 MHz 3 ns



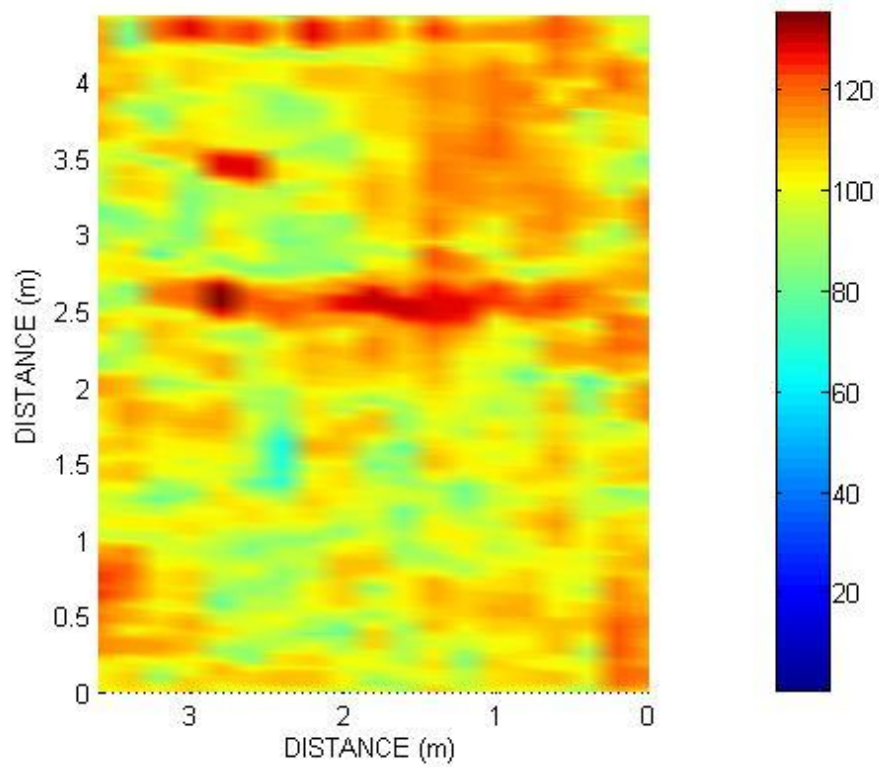
Οριζόντια Τομή Grid 1 900 MHz 3,5 ns



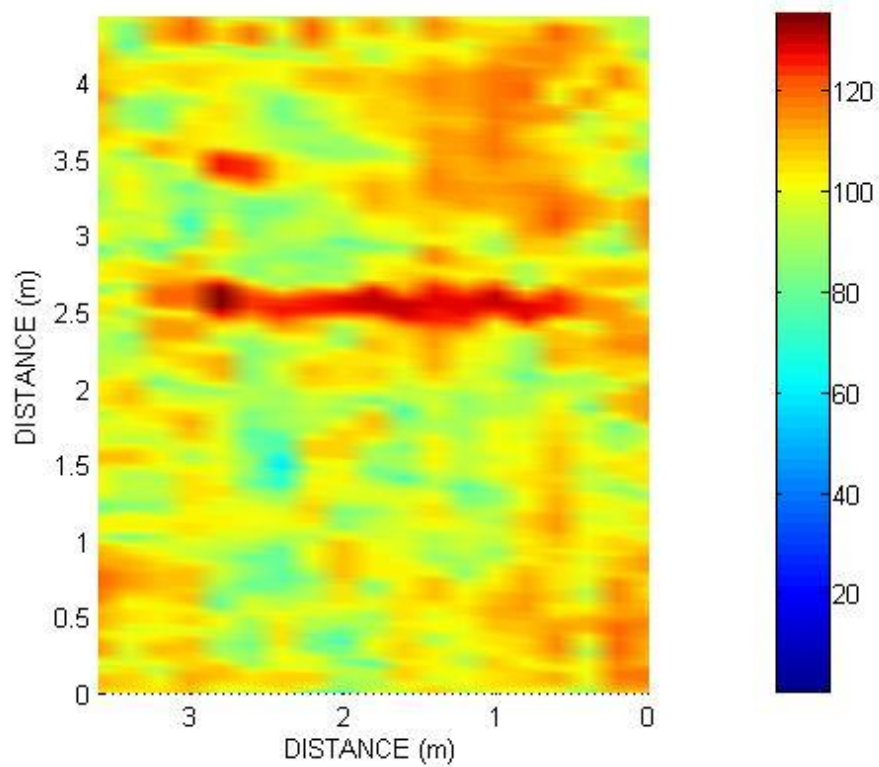
Οριζόντια Τομή Grid 1 900 MHz 4 ns



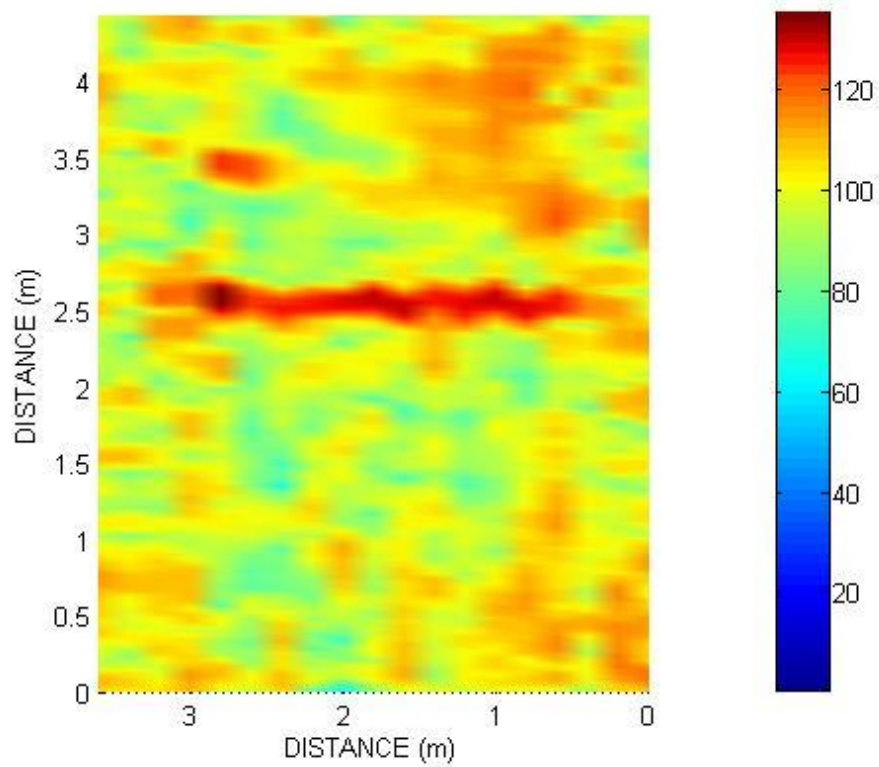
Οριζόντια Τομή Grid 1 900 MHz 4,5 ns



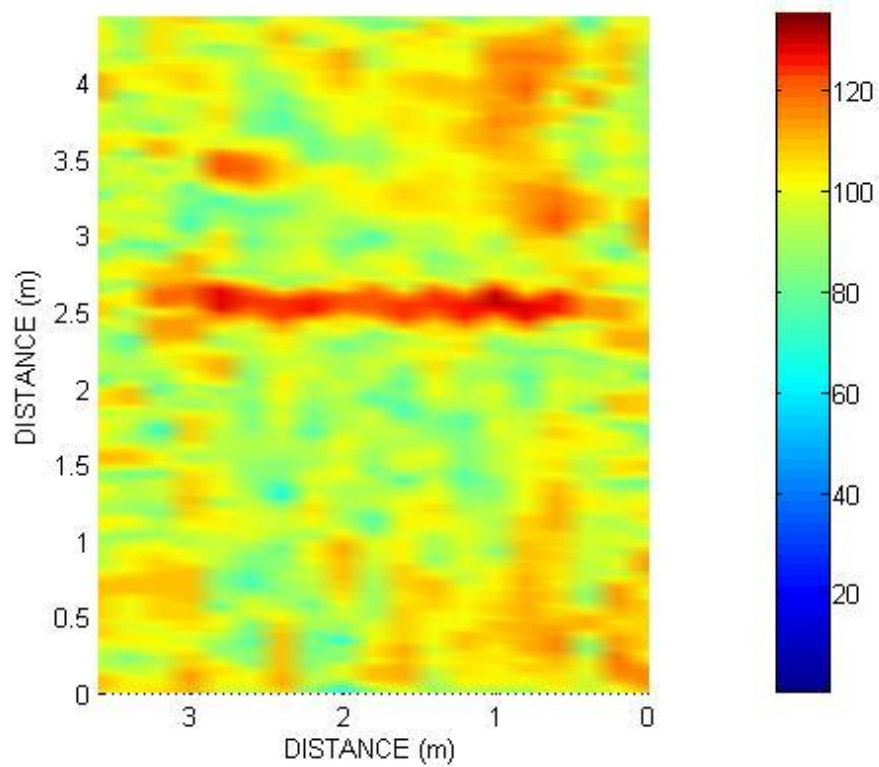
Οριζόντια Τομή Grid 1 900 MHz 5 ns



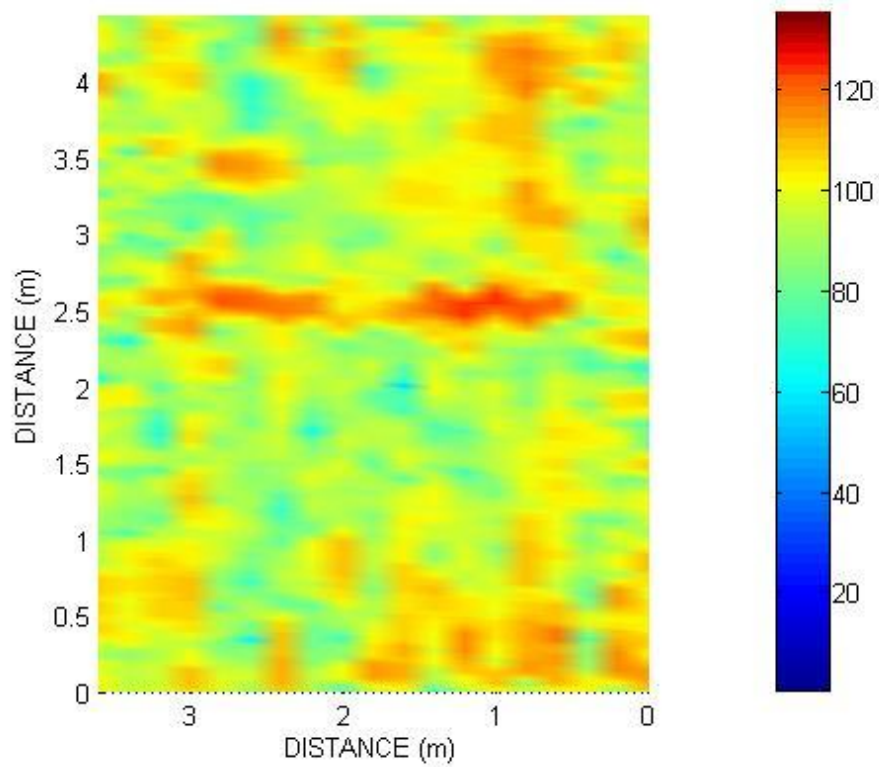
Οριζόντια Τομή Grid 1 900 MHz 5,5 ns



Οριζόντια Τομή Grid 1 900 MHz 6 ns

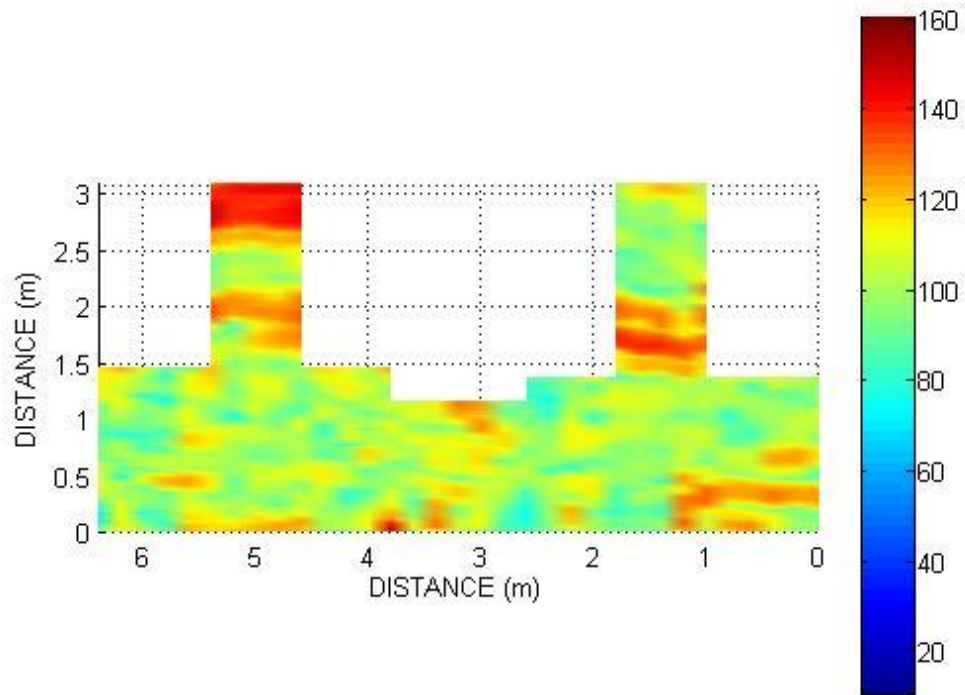


Οριζόντια Τομή Grid 1 900 MHz 6,5 ns

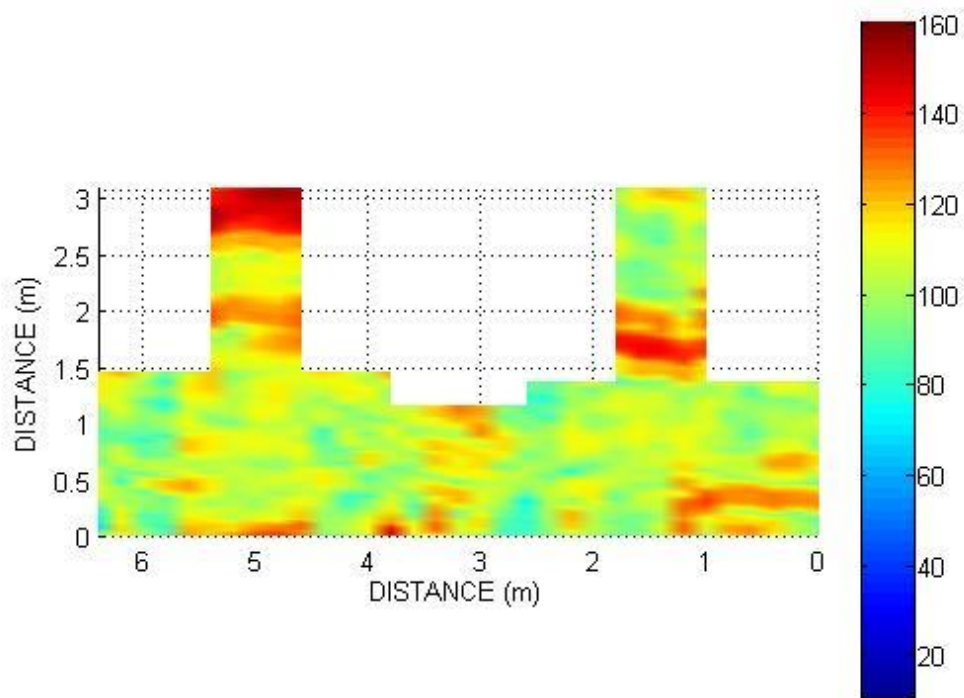


Οριζόντια Τομή Grid 1 900 MHz 7 ns

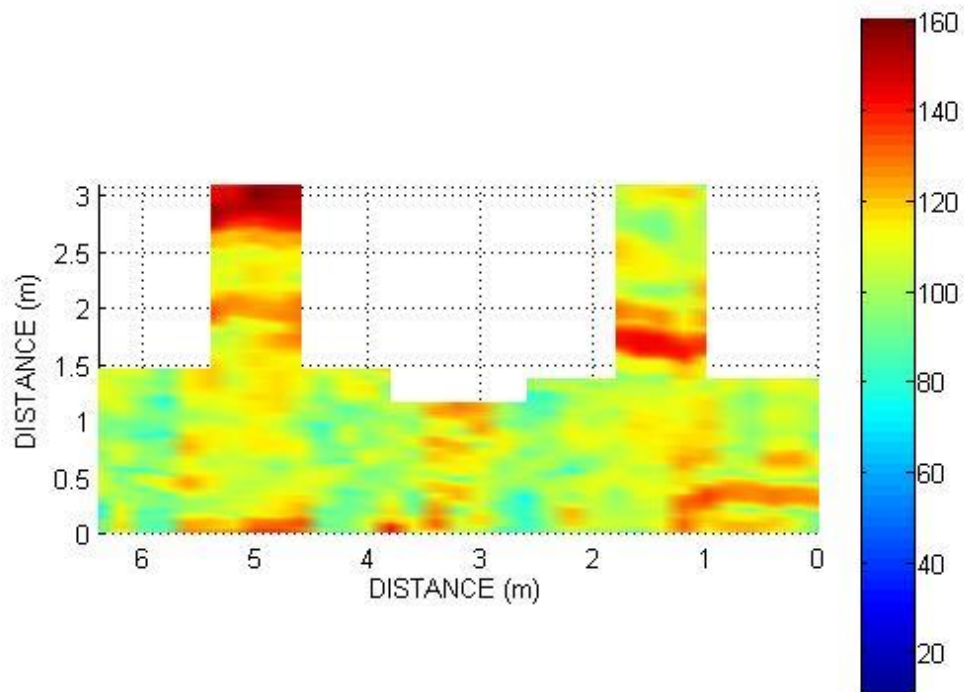
Οριζόντιες Τομές Grid 2 900 MHz



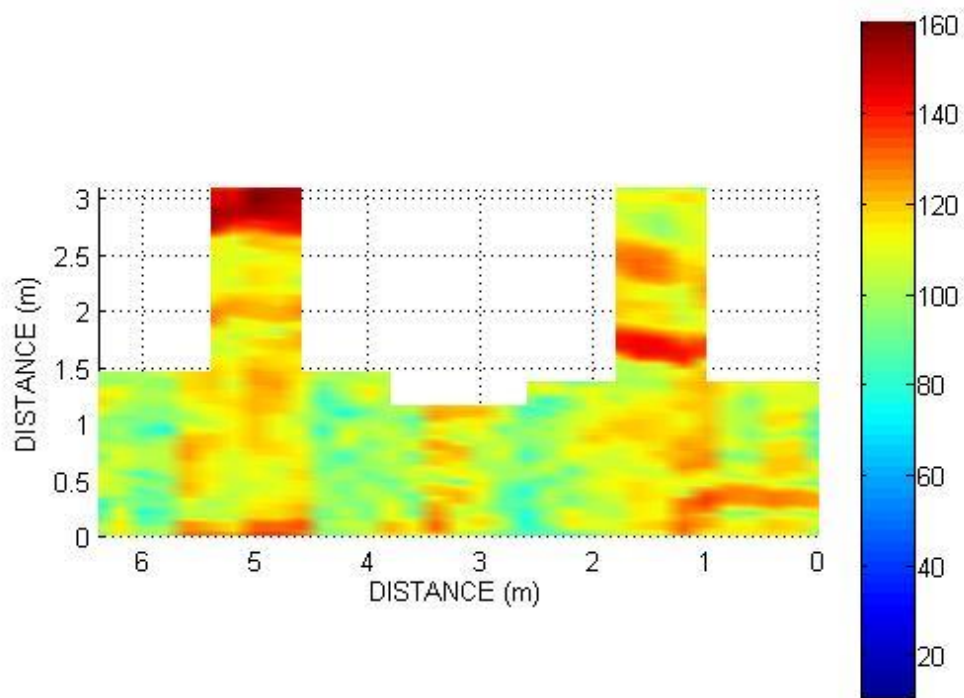
Οριζόντια Τομή Grid 2 900 MHz 2 ns



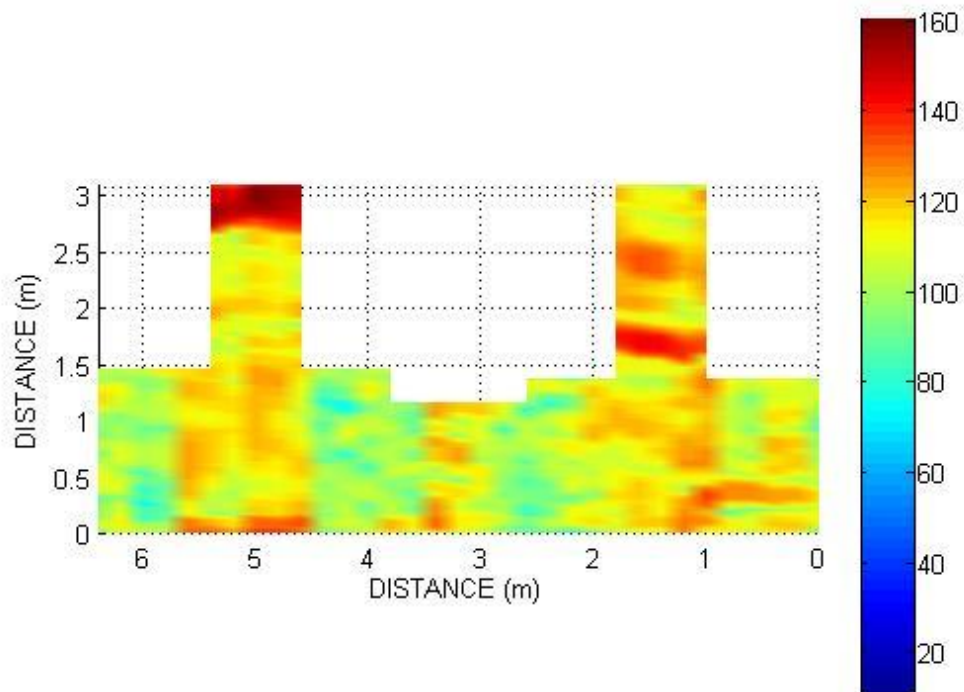
Οριζόντια Τομή Grid 2 900 MHz 2,5 ns



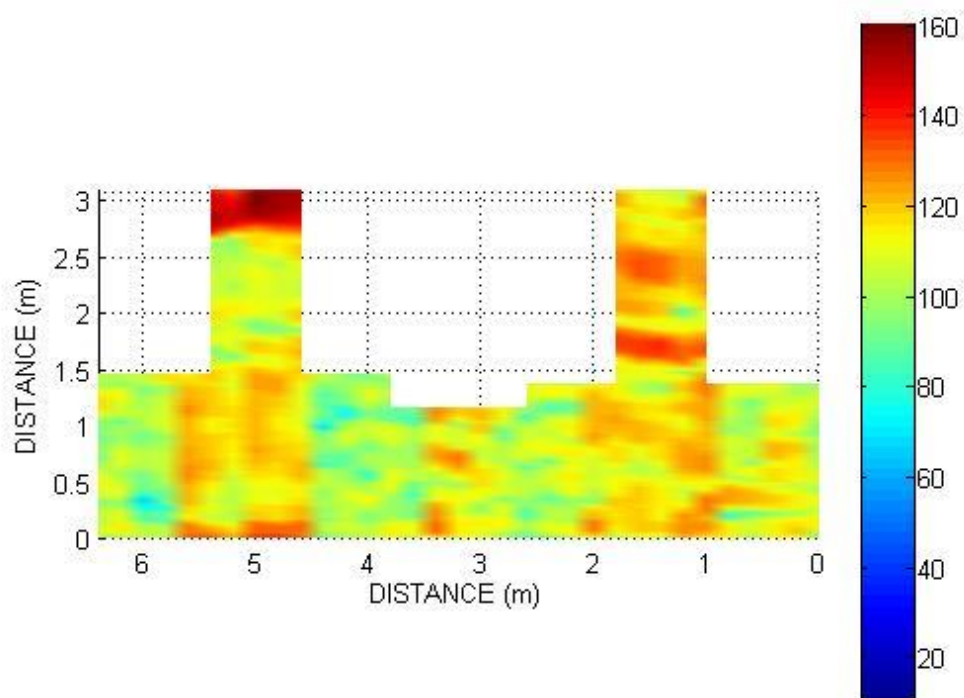
Οριζόντια Τομή Grid 2 900 MHz 3 ns



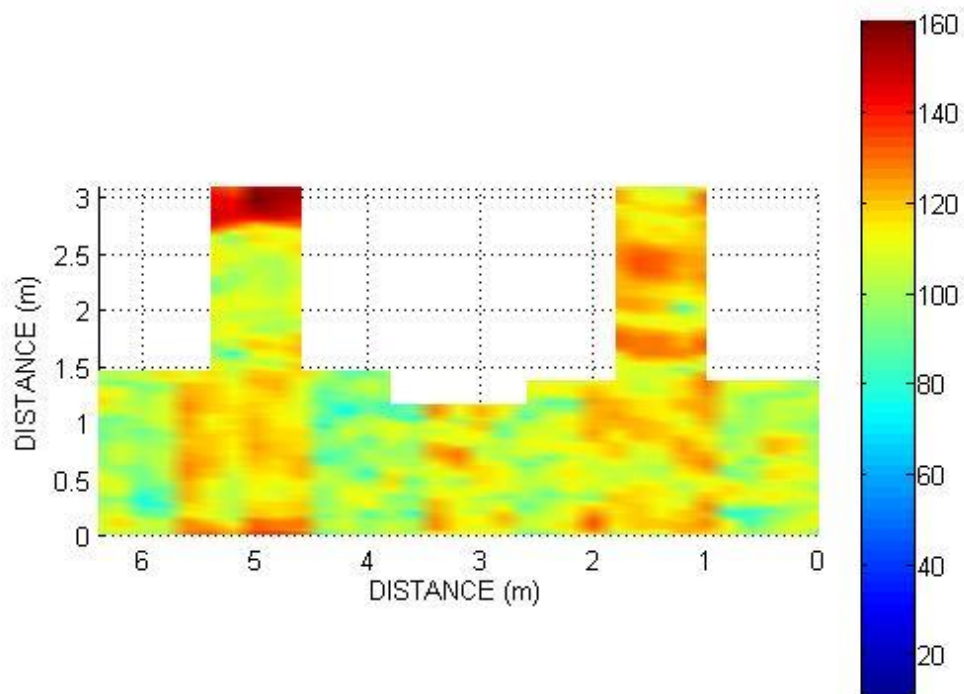
Οριζόντια Τομή Grid 2 900 MHz 3,5 ns



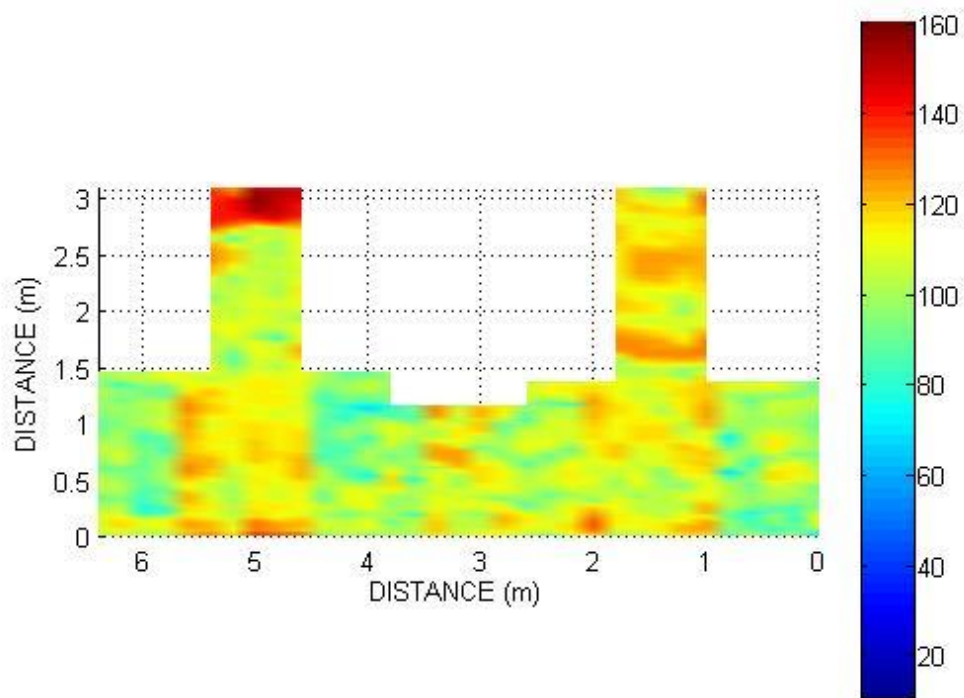
Οριζόντια Τομή Grid 2 900 MHz 4 ns



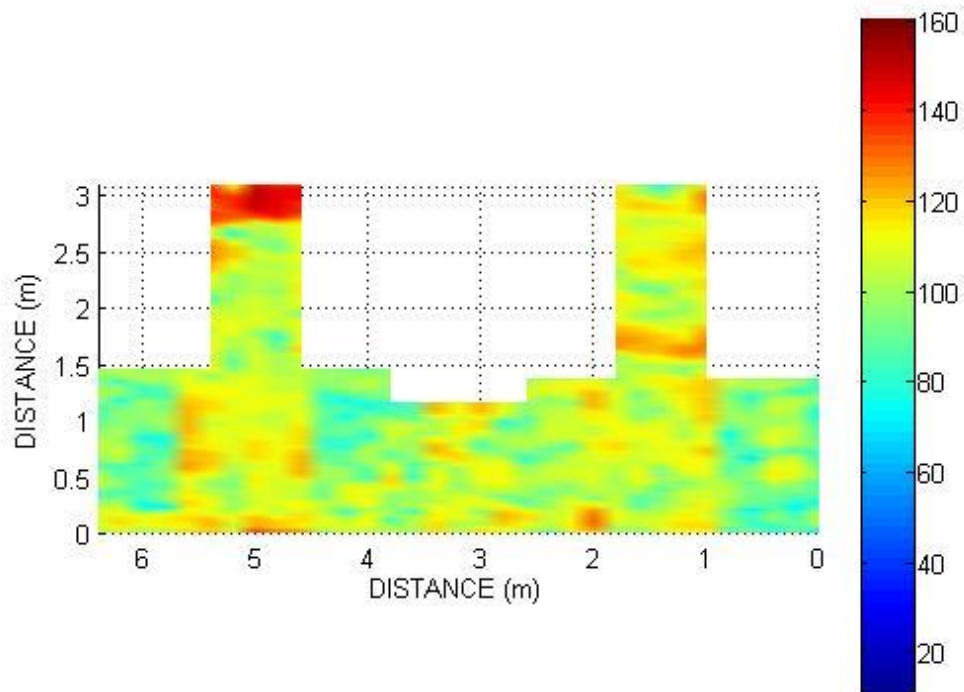
Οριζόντια Τομή Grid 2 900 MHz 4,5 ns



Οριζόντια Τομή Grid 2 900 MHz 5 ns



Οριζόντια Τομή Grid 2 900 MHz 5,5 ns



Οριζόντια Τομή Grid 2 900 MHz 6 ns